



EPO - DG1 #2

17 DEC 2003

112

# BREVET D'INVENTION

CERTIFICAT D'UTILITÉ - CERTIFICAT D'ADDITION

REC'D 09 FEB 2004

WIPO

PCT

## COPIE OFFICIELLE

Le Directeur général de l'Institut national de la propriété industrielle certifie que le document ci-annexé est la copie certifiée conforme d'une demande de titre de propriété industrielle déposée à l'Institut.

Fait à Paris, le 19 NOV. 2003

**PRIORITY  
DOCUMENT**  
SUBMITTED OR TRANSMITTED IN  
COMPLIANCE WITH RULE 17.1(a) OR (b)

Pour le Directeur général de l'Institut  
national de la propriété industrielle  
Le Chef du Département des brevets

Martine PLANCHE

INSTITUT  
NATIONAL DE  
LA PROPRIÉTÉ  
INDUSTRIELLE

SIEGE  
26 bis, rue de Saint Petersburg  
75800 PARIS cedex 08  
Téléphone : 33 (0)1 53 04 53 04  
Télécopie : 33 (0)1 53 04 45 23  
www.inpi.fr



26 bis, rue de Saint Pétersbourg  
75800 Paris Cedex 08  
Téléphone : 01 53 04 53 04 Télécopie : 01 42 94 86 54

**BREVET D'INVENTION**  
**CERTIFICAT D'UTILITÉ**  
Code de la propriété intellectuelle - Livre VI



**REQUÊTE EN DÉLIVRANCE 1/2**

Cet imprimé est à remplir lisiblement à l'encre noire

09 540 W / 260899

<b>REMISE DES COPIES</b> DATE <b>12 NOV 2002</b> LIEU <b>75 INPI PARIS</b> N° D'ENREGISTREMENT NATIONAL ATTRIBUÉ PAR L'INPI DATE DE DÉPÔT ATTRIBUÉE PAR L'INPI <b>12 NOV. 2002</b> N° <b>0214124</b>		<input checked="" type="checkbox"/> <b>NOM ET ADRESSE DU DEMANDEUR OU DU MANDATAIRE À QUI LA CORRESPONDANCE DOIT ÊTRE ADRESSÉE</b>  Mme DESVIGNES Agnès THALES INTELLECTUAL PROPERTY 13 Avenue du Président Salvador Allende 94117 ARCUEIL CEDEX	
Vos références pour ce dossier (facultatif) <b>62909</b>			
Confirmation d'un dépôt par télécopie <input type="checkbox"/> N° attribué par l'INPI à la télécopie			
<input checked="" type="checkbox"/> <b>NATURE DE LA DEMANDE</b>		Cochez l'une des 4 cases suivantes	
Demande de brevet		<input checked="" type="checkbox"/>	
Demande de certificat d'utilité		<input type="checkbox"/>	
Demande divisionnaire		<input type="checkbox"/>	
Demande de brevet initiale		N°	Date
ou demande de certificat d'utilité initiale		N°	Date
Transformation d'une demande de brevet européen		<input type="checkbox"/>	Date
Demande de brevet initiale		N°	Date
<input checked="" type="checkbox"/> <b>TITRE DE L'INVENTION (200 caractères ou espaces maximum)</b>  DISPOSITIF DE REDUCTION DU BRUIT DE PHASE			
<input checked="" type="checkbox"/> <b>DÉCLARATION DE PRIORITÉ OU REQUÊTE DU BÉNÉFICE DE LA DATE DE DÉPÔT D'UNE DEMANDE ANTÉRIEURE FRANÇAISE</b>		Pays ou organisation Date N° Pays ou organisation Date N° Pays ou organisation Date N° <input type="checkbox"/> S'il y a d'autres priorités, cochez la case et utilisez l'imprimé «Suite»	
<input checked="" type="checkbox"/> <b>DEMANDEUR</b>		<input type="checkbox"/> S'il y a d'autres demandeurs, cochez la case et utilisez l'imprimé «Suite»	
Nom ou dénomination sociale		THALES	
Prénoms			
Forme juridique		Société Anonyme	
N° SIREN		5 . 5 . 2 . 0 . 5 . 9 . 0 . 2 . 4	
Code APE-NAF			
Adresse	Rue	173 boulevard Haussmann	
	Code postal et ville	75008	PARIS
Pays		FRANCE	
Nationalité		Française	
N° de téléphone (facultatif)			
N° de télécopie (facultatif)			
Adresse électronique (facultatif)			



# BREVET D'INVENTION CERTIFICAT D'UTILITÉ

REQUÊTE EN DÉLIVRANCE 2/2

REMISE DE <b>12 NOV 2002</b> <small>Réserve à l'INPI</small> DATE <b>75 INPI PARIS</b> LIEU <b>0214124</b> N° D'ENREGISTREMENT NATIONAL ATTRIBUÉ PAR L'INPI		DB 5-0 W / 260399	
Vos références pour ce dossier : <i>(facultatif)</i>		<b>62909</b>	
<b>6 MANDATAIRE</b>			
Nom		DESVIGNES	
Prénom		Agnès	
Cabinet ou Société		THALES	
N° de pouvoir permanent et/ou de lien contractuel		8325	
Adresse	Rue	13 avenue du Président Salvador Allende	
	Code postal et ville	94117	ARCUEIL CEDEX
N° de téléphone <i>(facultatif)</i>		01 41 48 45 51	
N° de télécopie <i>(facultatif)</i>		01 41 48 45 01	
Adresse électronique <i>(facultatif)</i>			
<b>7 INVENTEUR (S)</b>			
Les inventeurs sont les demandeurs		<input type="checkbox"/> Oui <input checked="" type="checkbox"/> Non Dans ce cas fournir une désignation d'inventeur(s) séparée	
<b>8 RAPPORT DE RECHERCHE</b>		Uniquement pour une demande de brevet (y compris division et transformation)	
Établissement immédiat ou établissement différé		<input checked="" type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	
Paiement échelonné de la redevance		Paiement en trois versements, uniquement pour les personnes physiques <input type="checkbox"/> Oui <input checked="" type="checkbox"/> Non	
<b>9 RÉDUCTION DU TAUX DES REDEVANCES</b>		Uniquement pour les personnes physiques <input type="checkbox"/> Requête pour la première fois pour cette invention <i>(joindre un avis de non-imposition)</i> <input type="checkbox"/> Requête antérieurement à ce dépôt <i>(joindre une copie de la décision d'admission pour cette invention ou indiquer sa référence):</i>	
Si vous avez utilisé l'imprimé «Suite», indiquez le nombre de pages jointes			
<b>10 SIGNATURE DU DEMANDEUR OU DU MANDATAIRE</b> (Nom et qualité du signataire)  Agnès DESVIGNES		VISA DE LA PRÉFECTURE OU DE L'INPI 	

## DISPOSITIF DE REDUCTION DU BRUIT DE PHASE

La présente invention se rapporte à un dispositif de réduction du bruit de phase dans un signal issu d'une source quasi-périodique.

Elle s'applique plus particulièrement aux circuits logiques à supraconducteurs, notamment aux circuits logiques en technologie RSFQ (acronyme anglo-saxon pour *Rapid Single Flux Quantum*).

D'une manière générale les systèmes logiques utilisent au moins un signal d'horloge pour les fonctions de séquençement et de synchronisation. Les signaux d'horloge sont générés de façon habituelle par des oscillateurs. Ces signaux quasi-périodiques ne sont pas parfaitement purs, malgré l'intégration de filtres résonants dans les oscillateurs. Si on prend la représentation de la densité spectrale d'un signal quasi-périodique généré par un oscillateur, on observe ainsi un bruit de plancher : c'est le bruit blanc du spectre, correspondant à un bruit de phase à court terme du signal quasi-périodique. Les circuits à verrouillage de phase habituellement utilisés dans les systèmes numériques (calculateurs ou autre) ne permettent pas de réduire ce bruit de phase à court terme : leur action a un effet de stabilisation à long terme, pour empêcher les dérives en fréquence.

Dans la suite, on entend par bruit de phase, le bruit correspondant au plancher de bruit ou bruit blanc du spectre de fréquence du signal. Un objet de l'invention est un dispositif de réduction de ce bruit de phase. Un tel dispositif est particulièrement intéressant dans le domaine de l'électronique numérique rapide. Il permet notamment de réduire la gigue du signal d'horloge, particulièrement gênante dans les circuits numériques haute et très haute fréquence.

Dans les systèmes électroniques numériques rapides, une famille logique s'est développée, utilisant les circuits supraconducteurs. C'est la famille logique RSFQ (acronyme anglais de "*Rapid Single Flux Quantum*"), basée sur l'utilisation de la quantification du flux magnétique, et le transfert de quanta de flux  $\phi_0$  individualisés. Dans cette approche, le traitement logique de l'information revient à manipuler des impulsions de tension résultant du passage des quanta de flux dans des boucles de courant. Un

## DISPOSITIF DE REDUCTION DU BRUIT DE PHASE

La présente invention se rapporte à un dispositif de réduction du bruit de phase dans un signal issu d'une source quasi-périodique.

Elle s'applique plus particulièrement aux circuits logiques à supraconducteurs, notamment aux circuits logiques en technologie RSFQ (acronyme anglo-saxon pour *Rapid Single Flux Quantum*).

D'une manière générale les systèmes logiques utilisent au moins un signal d'horloge pour les fonctions de séquençement et de synchronisation. Les signaux d'horloge sont générés de façon habituelle par des oscillateurs. Ces signaux quasi-périodiques ne sont pas parfaitement purs, malgré l'intégration de filtres résonants dans les oscillateurs. Si on prend la représentation de la densité spectrale d'un signal quasi-périodique généré par un oscillateur, on observe ainsi un bruit de plancher : c'est le bruit blanc du spectre, correspondant à un bruit de phase à court terme du signal quasi-périodique. Les circuits à verrouillage de phase habituellement utilisés dans les systèmes numériques (calculateurs ou autre) ne permettent pas de réduire ce bruit de phase à court terme : leur action a un effet de stabilisation à long terme, pour empêcher les dérives en fréquence.

Dans la suite, on entend par bruit de phase, le bruit correspondant au plancher de bruit ou bruit blanc du spectre de fréquence du signal. Un objet de l'invention est un dispositif de réduction de ce bruit de phase. Un tel dispositif est particulièrement intéressant dans le domaine de l'électronique numérique rapide. Il permet notamment de réduire la gigue du signal d'horloge, particulièrement gênante dans les circuits numériques haute et très haute fréquence.

Dans les systèmes électroniques numériques rapides, une famille logique s'est développée, utilisant les circuits supraconducteurs. C'est la famille logique RSFQ (acronyme anglais de "*Rapid Single Flux Quantum*"), basée sur l'utilisation de la quantification du flux magnétique, et le transfert de quanta de flux  $\phi_0$  individualisés. Dans cette approche, le traitement logique de l'information revient à manipuler des impulsions de tension résultant du passage des quanta de flux dans des boucles de courant. Un



des éléments de base de cette famille logique à supraconducteurs, est la jonction Josephson shuntée, qui permet le transfert ou le maintien d'un quantum de flux individualisé, le passage d'un quantum de flux dans la jonction se traduisant par l'apparition d'une impulsion de tension à ses bornes telle que  $\int V dt = h / 2e = \phi_0 = 2,07 \cdot 10^{-15}$  webers ( $h$ , constante de Planck). Avec des technologies actuelles, l'impulsion de tension a ainsi une amplitude de l'ordre de 2 millivolts sur 1 picoseconde.

Chaque jonction est définie par un courant critique  $I_c$  et une résistance normale  $R_n$ , fonction de sa géométrie et de la technologie utilisée. La fonction de propagation/transfert est assurée par une commande en courant de polarisation de la jonction appropriée, qui permet d'augmenter ou d'affaiblir le courant traversant la jonction, permettant ainsi le maintien dans la boucle ou le transfert du quantum de flux à travers la jonction, dans la boucle suivante.

La logique RSFQ a abouti à de nombreux circuits logiques tels que des convertisseurs analogiques/numériques, des mémoires à accès aléatoire, des processeurs de traitement de signal calculant des transformées de Fourier rapides, qui peuvent fonctionner à très haute fréquence. La limite haute de fonctionnement des éléments logiques RSFQ est donnée par leur fréquence critique, fonction de leur géométrie et de la technologie employée (tricouche, planaire...). Cette fréquence caractéristique est donnée par l'équation suivante :

$f_c = I_c R_n / \phi_0$  où  $I_c$  est le courant critique de la jonction,  $R_n$ , la résistance normale et  $\phi_0$ , le quantum de flux, égal à  $2,07 \cdot 10^{-15}$  webers.

On trouvera un récapitulatif intéressant des applications de la logique RSFQ dans l'article de Konstantin K. Likharev "*Progress and prospects of superconducting electronics*", (Superconducting Science Technology, 3 - 1990 - pages 325-337).

Un autre élément actif de la logique RSFQ est la ligne de transmission Josephson. Une ligne de transmission Josephson est une ligne comprenant des jonctions Josephson shuntées en parallèles, couplées entre elles par des inductances supraconductrices. Une telle ligne permet la propagation des quanta de flux individualisés (Single Flux Quantum), et sert donc comme support de transport d'information logique.

des éléments de base de cette famille logique à supraconducteurs, est la jonction Josephson shuntée, qui permet le transfert ou le maintien d'un quantum de flux individualisé, le passage d'un quantum de flux dans la jonction se traduisant par l'apparition d'une impulsion de tension à ses bornes telle que  $\int V dt = h / 2e = \phi_0 = 2,07 \cdot 10^{-15}$  webers ( $h$ , constante de Planck). Avec des technologies actuelles, l'impulsion de tension a ainsi une amplitude de l'ordre de 2 millivolts sur 1 picoseconde.

Chaque jonction est définie par un courant critique  $I_c$  et une résistance normale  $R_n$ , fonction de sa géométrie et de la technologie utilisée.

10 La fonction de propagation/transfert est assurée par une commande en courant de polarisation de la jonction appropriée, qui permet d'augmenter ou d'affaiblir le courant traversant la jonction, permettant ainsi le maintien dans la boucle ou le transfert du quantum de flux à travers la jonction, dans la boucle suivante.

15 La logique RSFQ a abouti à de nombreux circuits logiques tels que des convertisseurs analogiques/numériques, des mémoires à accès aléatoire, des processeurs de traitement de signal calculant des transformées de Fourier rapides, qui peuvent fonctionner à très haute fréquence. La limite haute de fonctionnement des éléments logiques RSFQ est donnée par leur fréquence critique, fonction de leur géométrie et de la technologie employée (tricouche, planaire...). Cette fréquence caractéristique est donnée par l'équation suivante :

$f_c = I_c R_n / \phi_0$  où  $I_c$  est le courant critique de la jonction,  $R_n$ , la résistance normale et  $\phi_0$ , le quantum de flux, égal à  $2,07 \cdot 10^{-15}$  webers.

25 On trouvera un récapitulatif intéressant des applications de la logique RSFQ dans l'article de Konstantin K. Likharev "*Progress and prospects of superconducting electronics*", (Superconducting Science Technology, 3 - 1990 - pages 325-337).

30 Un autre élément actif de la logique RSFQ est la ligne de transmission Josephson. Une ligne de transmission Josephson est une ligne comprenant des jonctions Josephson shuntées en parallèles, couplées entre elles par des inductances supraconductrices. Une telle ligne permet la propagation des quanta de flux individualisés (Single Flux Quantum), et sert donc comme support de transport d'information logique.

Une impulsion très brève de tension, de l'ordre de 2 millivolts sur 1 picoseconde, qui est appliquée en entrée d'une telle ligne, se propage le long de cette ligne par propagation d'un quantum de flux  $\phi_0$ , appelé encore fluxon à travers des boucles de courant permanent. A la sortie, on récupère cette  
 5 impulsion de tension. Ces lignes de transmission Josephson permettent la transmission d'impulsions logiques sans distorsion.

Si deux impulsions sont appliquées successivement en entrée, deux fluxons sont générés dans la ligne et se propagent le long de cette ligne. Ces deux fluxons sont séparés dans la ligne par une distance  
 10 représentative de l'intervalle de temps séparant les deux impulsions appliquées en entrée.

Cependant, en raison d'une interaction répulsive entre les fluxons générés, si la distance  $d$  entre les deux fluxons est suffisamment courte pour que cette interaction répulsive ait une force significative, une redistribution spatiale  
 15 s'opère dans la ligne, qui se traduit en sortie par un intervalle de temps séparant les deux impulsions différent de celui observé à l'entrée de la ligne. En d'autres termes, dans la ligne, une impulsion a été accélérée et l'autre ralentie. Ce phénomène est bien expliqué dans un article intitulé "*Fluxon interaction in an overdamped Josephson Transmission line*" de V.K.  
 20 Kaplunenko, (Applied Physics Letters 66 (24) 12 June 1995) avec une illustration numérique de ce phénomène observé expérimentalement sur une ligne de transmission Josephson comprenant 200 jonctions Josephson shuntées, couplées en parallèle par une inductance supraconductrice et de fréquence caractéristique  $f_c = 104$  GHz. On applique en entrée de cette ligne  
 25 deux impulsions de tension à 9,6 ps (picosecondes) d'intervalle, correspondant à  $f_c^{-1}$ . Le long de la ligne, l'intervalle de temps entre les deux fluxons qui se propagent augmente. En sortie, on obtient deux impulsions de tension à 27 ps d'intervalle. Du fait de la répulsion entre les fluxons, une impulsion a été ralentie, l'autre accélérée, entraînant une augmentation de  
 30 l'intervalle de temps séparant les deux impulsions. Ce phénomène de modification n'est observé en pratique que pour une distance entre les fluxons correspondant à un intervalle de temps inférieur à un délai de saturation de la jonction, évalué à  $3f_c^{-1}$ , soit de l'ordre de 28,8 ps dans l'exemple. Si la distance est trop grande entre les fluxons, la contrainte n'est  
 35 pas assez forte. Il faut donc que les fluxons générés soient suffisamment



Une impulsion très brève de tension, de l'ordre de 2 millivolts sur 1 picoseconde, qui est appliquée en entrée d'une telle ligne, se propage le long de cette ligne par propagation d'un quantum de flux  $\phi_0$ , appelé encore fluxon à travers des boucles de courant permanent. A la sortie, on récupère cette  
 5 impulsion de tension. Ces lignes de transmission Josephson permettent la transmission d'impulsions logiques sans distorsion.

Si deux impulsions sont appliquées successivement en entrée, deux fluxons sont générés dans la ligne et se propagent le long de cette ligne. Ces deux fluxons sont séparés dans la ligne par une distance  
 10 représentative de l'intervalle de temps séparant les deux impulsions appliquées en entrée.

Cependant, en raison d'une interaction répulsive entre les fluxons générés, si la distance  $d$  entre les deux fluxons est suffisamment courte pour que cette interaction répulsive ait une force significative, une redistribution spatiale  
 15 s'opère dans la ligne, qui se traduit en sortie par un intervalle de temps séparant les deux impulsions différent de celui observé à l'entrée de la ligne. En d'autres termes, dans la ligne, une impulsion a été accélérée et l'autre ralentie. Ce phénomène est bien expliqué dans un article intitulé "*Fluxon interaction in an overdamped Josephson Transmission line*" de V.K.  
 20 Kaplunenko, (Applied Physic Letters 66 (24) 12 June 1995) avec une illustration numérique de ce phénomène observé expérimentalement sur une ligne de transmission Josephson comprenant 200 jonctions Josephson shuntées, couplées en parallèle par une inductance supraconductrice et de fréquence caractéristique  $f_c = 104$  Ghz. On applique en entrée de cette ligne  
 25 deux impulsions de tension à 9,6 ps (picosecondes) d'intervalle, correspondant à  $f_c^{-1}$ . Le long de la ligne, l'intervalle de temps entre les deux fluxons qui se propagent augmente. En sortie, on obtient deux impulsions de tension à 27 ps d'intervalle. Du fait de la répulsion entre les fluxons, une impulsion a été ralentie, l'autre accélérée, entraînant une augmentation de  
 30 l'intervalle de temps séparant les deux impulsions. Ce phénomène de modification n'est observé en pratique que pour une distance entre les fluxons correspondant à un intervalle de temps inférieur à un délai de saturation de la jonction, évalué à  $3f_c^{-1}$ , soit de l'ordre de 28,8 ps dans l'exemple. Si la distance est trop grande entre les fluxons, la contrainte n'est  
 35 pas assez forte. Il faut donc que les fluxons générés soient suffisamment

proches, pour que la contrainte soit forte. Dans l'exemple, si on injecte dans la ligne deux impulsions à 30 picosecondes d'intervalle, cet intervalle est inchangé en sortie de la ligne.

Une séquence de bits représentant des données logiques peut ainsi être modifiée dans la ligne de transmission Josephson, sous l'effet de l'interaction répulsive entre les fluxons, ce qui équivaut à une perte d'information logique. Dans un système logique cette perte d'information peut avoir des répercussions graves : perte brute d'information, désynchronisation (comparateur de phase)... Pour éviter ce problème d'interaction, l'auteur de l'article préconise de dimensionner la ligne pour que la séparation temporelle entre deux fluxons générés dans la ligne ne soit pas inférieure à  $3\tau_c$ , soit dans l'exemple, à 28,8 ps (valeur de saturation). Un dimensionnement adapté est obtenu notamment en jouant sur le courant critique, la résistance normale et sur la valeur des inductances dans la définition du circuit. On peut ensuite adapter en opérationnel la fréquence critique en jouant sur le courant de polarisation des jonctions Josephson.

Dans l'invention, on s'est intéressé à cet effet d'interaction répulsive entre les fluxons pour en retirer un effet technique avantageux, sur la filtration du bruit blanc d'un signal issu d'une source quasi-périodique. L'idée à la base de l'invention, est d'utiliser cet effet sur une série d'impulsions d'un signal d'horloge issu d'une source quasi-périodique quelconque, de fréquence fondamentale  $f_0$ , pour abaisser le niveau de bruit blanc de ce signal, par rapport au niveau du fondamental. En effet, si on prend le cas d'un signal d'horloge de type à impulsions de tension, le niveau de bruit blanc se traduit par une dispersion temporelle des impulsions du signal, et par suite, par une dispersion de la distance spatiale entre les fluxons générés dans la ligne de transmission supraconductrice.

L'effet d'interaction sur toute la longueur de la ligne entraîne que l'on observe une redistribution des fluxons dans l'espace confiné de la ligne, du au comportement statistique des grands nombres, autour d'une valeur lissée, correspondant à une valeur moyenne de la distance inter-fluxon. Cette redistribution spatiale des fluxons a comme effet direct une redistribution temporelle des impulsions en sortie.

On a vu que le bruit blanc du signal quasi-périodique se traduit sur le signal par une dispersion temporelle des impulsions, et dans la ligne

proches, pour que la contrainte soit forte. Dans l'exemple, si on injecte dans la ligne deux impulsions à 30 picosecondes d'intervalle, cet intervalle est inchangé en sortie de la ligne.

Une séquence de bits représentant des données logiques peut ainsi être modifiée dans la ligne de transmission Josephson, sous l'effet de l'interaction répulsive entre les fluxons, ce qui équivaut à une perte d'information logique. Dans un système logique cette perte d'information peut avoir des répercussions graves : perte brute d'information, désynchronisation (comparateur de phase)... Pour éviter ce problème d'interaction, l'auteur de l'article préconise de dimensionner la ligne pour que la séparation temporelle entre deux fluxons générés dans la ligne ne soit pas inférieure à  $3f_c^{-1}$ , soit dans l'exemple, à 28,8 ps (valeur de saturation). Un dimensionnement adapté est obtenu notamment en jouant sur le courant critique, la résistance normale et sur la valeur des inductances dans la définition du circuit. On peut ensuite adapter en opérationnel la fréquence critique en jouant sur le courant de polarisation des jonctions Josephson.

Dans l'invention, on s'est intéressé à cet effet d'interaction répulsive entre les fluxons pour en retirer un effet technique avantageux, sur la filtration du bruit blanc d'un signal issu d'une source quasi-périodique. L'idée à la base de l'invention, est d'utiliser cet effet sur une série d'impulsions d'un signal d'horloge issu d'une source quasi-périodique quelconque, de fréquence fondamentale  $f_0$ , pour abaisser le niveau de bruit blanc de ce signal, par rapport au niveau du fondamental. En effet, si on prend le cas d'un signal d'horloge de type à impulsions de tension, le niveau de bruit blanc se traduit par une dispersion temporelle des impulsions du signal, et par suite, par une dispersion de la distance spatiale entre les fluxons générés dans la ligne de transmission supraconductrice.

L'effet d'interaction sur toute la longueur de la ligne entraîne que l'on observe une redistribution des fluxons dans l'espace confiné de la ligne, du au comportement statistique des grands nombres, autour d'une valeur lissée, correspondant à une valeur moyenne de la distance inter-fluxon. Cette redistribution spatiale des fluxons a comme effet direct une redistribution temporelle des impulsions en sortie.

On a vu que le bruit blanc du signal quasi-périodique se traduit sur le signal par une dispersion temporelle des impulsions, et dans la ligne

de transmission supraconductrice, par une dispersion de la distance spatiale entre deux fluxons successifs.

Du fait de la nature périodique du signal à l'entrée, les fluxons s'organisent dans la ligne selon un réseau périodique. Dans la ligne de transmission Josephson, il s'agit d'un réseau périodique unidimensionnel, selon la direction de propagation des quanta de flux. Après un certain nombre d'impulsions, qui correspondent à un délai transitoire, une redistribution de ce réseau s'établit, avec une distance inter-fluxon lissée autour d'une valeur moyenne.

Ainsi le phénomène d'interaction répulsive entre les fluxons associé à la statistique des grands nombres, conduit à une redistribution homogène des fluxons dans le réseau, ce qui se traduit en sortie de la ligne par une réduction du niveau de bruit blanc du signal quasi-périodique.

De façon générale, selon l'invention, en prenant tout système physique apte à générer des particules ayant entre elles des interactions répulsives pour une distance entre particules inférieure à une valeur de saturation du système (fréquence caractéristique), comme des électrons (circuits quantroniques) des quanta de flux, des vortex, on peut réduire le bruit de phase par réorganisation du réseau de particules dans le système physique.

Telle que caractérisée, l'invention concerne donc un dispositif de réduction du bruit de phase d'un signal issu d'une source quasi-périodique de fréquence fondamentale  $f_0$ . Selon l'invention, ce dispositif comprend un système physique de transmission d'impulsions par transfert de particules ledit système étant défini pour avoir une fréquence caractéristique telle qu'à la fréquence fondamentale du signal appliqué en entrée, lesdites particules ont une interaction répulsive entre elles et fournissant en sortie un signal d'impulsions de tension de fréquence fondamentale  $f_0$ .

L'invention concerne aussi un dispositif de réduction du bruit de phase d'un signal issu d'une source quasi-périodique de fréquence fondamentale  $f_0$ . Selon l'invention, il comprend un circuit supraconducteur à ligne active de transmission d'impulsions de tensions par transfert de quanta de flux  $\phi_0$ , ledit circuit étant défini pour avoir une fréquence caractéristique  $f_c$  telle que  $0,3f_c \leq f_0$  où  $f_0$  est la fréquence fondamentale du signal quasi-



de transmission supraconductrice, par une dispersion de la distance spatiale entre deux fluxons successifs.

Du fait de la nature périodique du signal à l'entrée, les fluxons s'organisent dans la ligne selon un réseau périodique. Dans la ligne de transmission Josephson, il s'agit d'un réseau périodique unidimensionnel, selon la direction de propagation des quanta de flux. Après un certain nombre d'impulsions, qui correspondent à un délai transitoire, une redistribution de ce réseau s'établit, avec une distance inter-fluxon lissée autour d'une valeur moyenne.

10 Ainsi le phénomène d'interaction répulsive entre les fluxons associé à la statistique des grands nombres, conduit à une redistribution homogène des fluxons dans le réseau, ce qui se traduit en sortie de la ligne par une réduction du niveau de bruit blanc du signal quasi-périodique.

De façon générale, selon l'invention, en prenant tout système physique apte à générer des particules ayant entre elles des interactions répulsives pour une distance entre particules inférieure à une valeur de saturation du système (fréquence caractéristique), comme des électrons (circuits quantroniques) des quanta de flux, des vortex, on peut réduire le bruit de phase par réorganisation du réseau de particules dans le système physique.

20 Telle que caractérisée, l'invention concerne donc un dispositif de réduction du bruit de phase d'un signal issu d'une source quasi-périodique de fréquence fondamentale  $f_0$ . Selon l'invention, ce dispositif comprend un système physique de transmission d'impulsions par transfert de particules ledit système étant défini pour avoir une fréquence caractéristique telle qu'à la fréquence fondamentale du signal appliqué en entrée, lesdites particules ont une interaction répulsive entre elles et fournissant en sortie un signal d'impulsions de tension de fréquence fondamentale  $f_0$ .

L'invention concerne aussi un dispositif de réduction du bruit de phase d'un signal issu d'une source quasi-périodique de fréquence fondamentale  $f_0$ . Selon l'invention, il comprend un circuit supraconducteur à ligne active de transmission d'impulsions de tensions par transfert de quanta de flux  $\phi_0$ , ledit circuit étant défini pour avoir une fréquence caractéristique  $f_c$  telle que  $0,3f_c \leq f_0$  où  $f_0$  est la fréquence fondamentale du signal quasi-

périodique ( $\phi_0$ ) appliqué en entrée, et fournissant en sortie un signal d'impulsions de tension de fréquence fondamentale  $f_0$ .

On peut améliorer la réduction du bruit de phase, en définissant un circuit supraconducteur à ligne active de transmission d'impulsions de tension tel que les quanta de flux générés dans le circuit sous l'effet de l'application du signal quasi-périodique s'organisent selon un réseau périodique bidimensionnel. Ainsi, les interactions entre les quanta de flux opèrent entre plus proches voisins selon les deux dimensions du réseau.

L'invention s'applique non seulement aux quanta de flux générés dans une ligne de transmission Josephson, mais plus généralement à tout circuit supraconducteur à ligne active de transmission d'impulsions de tension. En particulier, il s'applique aussi aux lignes de transmission de flux de vortex : ligne de transmission à une jonction longue Josephson, à flux de vortex Josephson, ligne à fente ou micropont, à flux de vortex d'Abrikosov.

Le dispositif de réduction de phase peut en outre être utilisé de façon avantageuse dans un circuit multiplieur de fréquence.

D'autres avantages et caractéristiques de l'invention apparaîtront plus clairement à la lecture de la description qui suit, faite à titre indicatif et non limitatif de l'invention et en référence aux dessins annexés, dans lesquels :

- la figure 1 déjà décrite illustre la densité spectrale  $A(\sin)$  d'un signal issu d'une source quasi-périodique ;
- la figure 2 représente un schéma électrique d'un dispositif de réduction de phase selon l'invention basé sur une ligne de transmission Josephson comprenant une pluralité de jonctions Josephson ;
- la figure 3 représente un premier exemple de réalisation d'une telle ligne, selon une technologie à jonctions sur bicristal ;
- la figure 4a représente schématiquement un réseau périodique de fluxons générés par un signal d'horloge impulsionnel dans la ligne de transmission Josephson et
- les figures 4b et 4c illustrent le phénomène de redistribution temporelle des impulsions de tension dans une telle ligne ;

périodique ( $S_e$ ) appliqué en entrée, et fournissant en sortie un signal d'impulsions de tension de fréquence fondamentale  $f_0$ .

On peut améliorer la réduction du bruit de phase, en définissant un circuit supraconducteur à ligne active de transmission d'impulsions de tension tel que les quanta de flux générés dans le circuit sous l'effet de l'application du signal quasi-périodique s'organisent selon un réseau périodique bidimensionnel. Ainsi, les interactions entre les quanta de flux opèrent entre plus proches voisins selon les deux dimensions du réseau.

L'invention s'applique non seulement aux quanta de flux générés dans une ligne de transmission Josephson, mais plus généralement à tout circuit supraconducteur à ligne active de transmission d'impulsions de tension. En particulier, il s'applique aussi aux lignes de transmission de flux de vortex : ligne de transmission à une jonction longue Josephson, à flux de vortex Josephson, ligne à fente ou micropont, à flux de vortex d'Abrikosov.

Le dispositif de réduction de phase peut en outre être utilisé de façon avantageuse dans un circuit multiplieur de fréquence.

D'autres avantages et caractéristiques de l'invention apparaîtront plus clairement à la lecture de la description qui suit, faite à titre indicatif et non limitatif de l'invention et en référence aux dessins annexés, dans lesquels :

- la figure 1 déjà décrite illustre la densité spectrale  $A(\sin)$  d'un signal issu d'une source quasi-périodique ;
- la figure 2 représente un schéma électrique d'un dispositif de réduction de phase selon l'invention basé sur une ligne de transmission Josephson comprenant une pluralité de jonctions Josephson ;
- la figure 3 représente un premier exemple de réalisation d'une telle ligne, selon une technologie à jonctions sur bicristal ;
- la figure 4a représente schématiquement un réseau périodique de fluxons générés par un signal d'horloge impulsionnel dans la ligne de transmission Josephson et
- les figures 4b et 4c illustrent le phénomène de redistribution temporelle des impulsions de tension dans une telle ligne ;

- la figure 5a représente un autre exemple de réalisation d'un dispositif de réduction de phase comprenant deux lignes de transmission Josephson disposées en parallèle dans le même plan de surface et

5 - la figure 5b est une illustration du réseau périodique des fluxons correspondant ;

- les figures 6a et 6b illustrent schématiquement deux variantes d'utilisation de deux lignes de transmission Josephson en parallèle dans un dispositif à réduction de phase, afin d'améliorer l'efficacité de la correction ;

10 - la figure 6c est une variante des figures précédentes avec  $n = 3$  lignes de transmission Josephson en parallèle, avec une illustration du réseau périodique des fluxons correspondant ;

- la figure 7 montre un exemple d'utilisation d'un dispositif de réduction du bruit de phase dans un circuit doubleur de fréquence ;

15 - les figures 8a et 8b représentent un autre exemple de réalisation d'un dispositif de réduction de phase à ligne de transmission Josephson dans une technologie de jonction sur rampe ;

- les figures 9a et 9b représentent deux modes de réalisation d'un dispositif de réduction du bruit de phase, à ligne de transmission à jonction longue Josephson ;

20 - les figures 10a et 10b représentent un dispositif de réduction du bruit de phase à ligne à fente ou micropont, à flux de vortex ;

- la figure 11 est une illustration du réseau périodique des vortex générés dans une telle ligne.

25 La figure 1 montre la densité spectrale  $A(\sin)$  d'un signal  $\sin$  issu d'une source quasi-périodique et appliqué comme signal d'horloge dans un système logique. Dans l'invention, on cherche à réduire d'au moins un facteur 10 le rapport bruit de phase sur signal  $N_2/N_1$ , qui est de l'ordre de -115 à -120 dBc pour des signaux issus de sources quasi-périodiques  
30 classiques (oscillateurs). Une telle réduction est particulièrement avantageuse dans le domaine de l'électronique à très haute fréquence et en particulier dans les systèmes basés sur les circuits logiques RSFQ, à supraconducteur à haute température critique, dans lesquels le bruit thermique est faible. On bénéficie alors pleinement d'un signal dont le bruit à  
35 court terme a été singulièrement réduit.



- la figure 5a représente un autre exemple de réalisation d'un dispositif de réduction de phase comprenant deux lignes de transmission Josephson disposées en parallèle dans le même plan de surface et

5 - la figure 5b est une illustration du réseau périodique des fluxons correspondant ;

- les figures 6a et 6b illustrent schématiquement deux variantes d'utilisation de deux lignes de transmission Josephson en parallèle dans un dispositif à réduction de phase, afin d'améliorer l'efficacité de la correction ;

10 - la figure 6c est une variante des figures précédentes avec  $n = 3$  lignes de transmission Josephson en parallèle, avec une illustration du réseau périodique des fluxons correspondant ;

- la figure 7 montre un exemple d'utilisation d'un dispositif de réduction du bruit de phase dans un circuit doubleur de fréquence ;

15 - les figures 8a et 8b représentent un autre exemple de réalisation d'un dispositif de réduction de phase à ligne de transmission Josephson dans une technologie de jonction sur rampe ;

- les figures 9a et 9b représentent deux modes de réalisation d'un dispositif de réduction du bruit de phase, à ligne de transmission à jonction longue Josephson ;

20 - les figures 10a et 10b représentent un dispositif de réduction du bruit de phase à ligne à fente ou micropont, à flux de vortex ;

- la figure 11 est une illustration du réseau périodique des vortex générés dans une telle ligne.

25 La figure 1 montre la densité spectrale  $A(\text{Sin})$  d'un signal Sin issu d'une source quasi-périodique et appliqué comme signal d'horloge dans un système logique. Dans l'invention, on cherche à réduire d'au moins un facteur 10 le rapport bruit de phase sur signal  $N_2/N_1$ , qui est de l'ordre de -115 à -120 dBc pour des signaux issus de sources quasi-périodiques classiques (oscillateurs). Une telle réduction est particulièrement  
30 avantageuse dans le domaine de l'électronique à très haute fréquence et en particulier dans les systèmes basés sur les circuits logiques RSFQ, à supraconducteur à haute température critique, dans lesquels le bruit thermique est faible. On bénéficie alors pleinement d'un signal dont le bruit à  
35 court terme a été singulièrement réduit.

La figure 2 illustre un premier mode de réalisation d'un dispositif à réduction du bruit de phase selon l'invention, comprenant un circuit supraconducteur à ligne de transmission d'impulsions de tension, à l'entrée duquel le signal  $S_{in}$  à traiter est appliqué et qui fournit en sortie un signal  $S_{out}$ , duquel le bruit de phase a été réduit.

Dans cet exemple, la ligne de transmission est une ligne de transmission Josephson, comprenant une pluralité de jonctions Josephson  $JJ_1, JJ_2, \dots, JJ_{200}$ , représentées selon leur schéma électrique simplifié. Les jonctions Josephson sont shuntées, montées en parallèles, et couplées les unes aux autres par des inductances supraconductrices  $LS_1, LS_2, LS_3, \dots, LS_{200}$ . Une inductance supraconductrice  $LS_0$  est aussi prévue en entrée, entre une électrode signal d'entrée A et la première jonction Josephson  $JJ_1$ .

Le signal d'entrée est appliquée aux bornes de la ligne, entre deux électrodes signal d'entrée A et M. Le signal de sortie  $S_{out}$  est obtenu en sortie de la ligne, entre deux électrodes signal de sortie, B et M'. Les électrodes M et M' sont les électrodes de masse de la ligne. Les jonctions sont polarisées en courant  $I_p$ , inférieur au courant critique  $I_c$  des jonctions, en sorte qu'une boucle  $B_c$  de courant permanent s'établit dans chaque cellule fermée par une jonction.

L'application d'une impulsion en entrée d'une telle ligne augmente le courant de la jonction au-dessus du courant critique. L'effet Josephson se produit : un quantum de flux traverse la boucle de courant ; une impulsion de tension correspondante apparaît aux bornes de la jonction. L'impulsion de tension se propage ainsi dans la ligne, sans déformation.

Si on applique un train d'impulsions d'un signal d'horloge, on récupère en sortie un train correspondant. Selon l'invention, en choisissant les caractéristiques de la ligne pour que sa fréquence caractéristique  $f_c$  vérifie  $0,3f_c \leq f_0$ , où  $f_0$  est la fréquence fondamentale du signal  $S_{in}$  appliqué en entrée, en sorte qu'en moyenne, la distance inter-fluxon soit inférieure à la valeur de saturation de la ligne, on a un phénomène d'interaction répulsive entre les quanta de flux (fluxons) qui entraîne une redistribution spatiale des quanta de flux (fluxons) au long de la ligne, autour d'une valeur moyenne inter-fluxon, par lissage autour d'une valeur moyenne, correspondant à la valeur moyenne de l'intervalle de temps entre deux impulsions. En sortie, le signal présente un écart type des intervalles de temps entre les impulsions

La figure 2 illustre un premier mode de réalisation d'un dispositif à réduction du bruit de phase selon l'invention, comprenant un circuit supraconducteur à ligne de transmission d'impulsions de tension, à l'entrée duquel le signal  $S_{in}$  à traiter est appliqué et qui fournit en sortie un signal Sout, duquel le bruit de phase a été réduit.

Dans cet exemple, la ligne de transmission est une ligne de transmission Josephson, comprenant une pluralité de jonctions Josephson  $JJ_1, JJ_2, \dots, JJ_{200}$ , représentées selon leur schéma électrique simplifié. Les jonctions Josephson sont shuntées, montées en parallèles, et couplées les unes aux autres par des inductances supraconductrices  $LS_1, LS_2, LS_3, \dots, LS_{200}$ . Une inductance supraconductrice  $LS_0$  est aussi prévue en entrée, entre une électrode signal d'entrée A et la première jonction Josephson  $JJ_1$ .

Le signal d'entrée est appliquée aux bornes de la ligne, entre deux électrodes signal d'entrée A et M. Le signal de sortie Sout est obtenu en sortie de la ligne, entre deux électrodes signal de sortie, B et M'. Les électrodes M et M' sont les électrodes de masse de la ligne. Les jonctions sont polarisées en courant  $I_p$ , inférieur au courant critique  $I_c$  des jonctions, en sorte qu'une boucle  $B_c$  de courant permanent s'établit dans chaque cellule fermée par une jonction.

L'application d'une impulsion en entrée d'une telle ligne augmente le courant de la jonction au-dessus du courant critique. L'effet Josephson se produit : un quantum de flux traverse la boucle de courant ; une impulsion de tension correspondante apparaît aux bornes de la jonction. L'impulsion de tension se propage ainsi dans la ligne, sans déformation.

Si on applique un train d'impulsions d'un signal d'horloge, on récupère en sortie un train correspondant. Selon l'invention, en choisissant les caractéristiques de la ligne pour que sa fréquence caractéristique  $f_c$  vérifie  $0,3f_c \leq f_0$ , où  $f_0$  est la fréquence fondamentale du signal  $S_{in}$  appliqué en entrée, en sorte qu'en moyenne, la distance inter-fluxon soit inférieure à la valeur de saturation de la ligne, on a un phénomène d'interaction répulsive entre les quanta de flux (fluxons) qui entraîne une redistribution spatiale des quanta de flux (fluxons) au long de la ligne, autour d'une valeur moyenne inter-fluxon, par lissage autour d'une valeur moyenne, correspondant à la valeur moyenne de l'intervalle de temps entre deux impulsions. En sortie, le signal présente un écart type des intervalles de temps entre les impulsions

considérablement réduit. De cette façon, le bruit à court terme ou bruit de phase du signal d'entrée est réduit.

Les caractéristiques d'une ligne de transmission Josephson sont principalement les valeurs des inductances, fonction de la longueur de ligne et de la technologie, notamment l'inductance mutuelle  $L_m$  et des caractéristiques des jonctions; courant critique  $I_c$ , résistance normale  $R_n$ . Pour ne pas trop compliquer le dessin de la figure 2, ces caractéristiques bien connues des jonctions Josephson, ne sont représentées que pour la première jonction  $JJ_1$ .

Sur la figure 3, on donne un exemple de réalisation pratique d'un dispositif de réduction de phase selon l'invention avec un circuit supraconducteur du type à ligne de transmission Josephson comprenant une pluralité de jonctions Josephson, dans une technologie planaire à couche mince d'un supraconducteur à haute température critique (dans la suite, on utilise l'acronyme français de ce terme, soit HTC), sur substrat bi-cristal.

Deux substrats 1 et 2, typiquement des substrats  $SrTiO_3$ , ou encore des substrats  $MgO$ , ou YSZ, et dont les axes cristallins présentent un écart angulaire dans le plan de surface, sont soudés. Un film supraconducteur 3, typiquement un film d'un matériau de la forme  $YBa_2Cu_3O_n$ ,  $6 \leq n \leq 7$ , est déposé (épitaxié) sur le plan de surface du bi-cristal, à cheval sur la ligne de soudure du substrat bi-cristal, en sorte qu'il se développe un joint de grain 4 tout le long de la soudure, sous le film supraconducteur, équivalent à une barrière électrique. Le film est ensuite gravé selon un motif d'échelle, chaque barreau de l'échelle correspondant à une jonction Josephson. Ce sont les parties grisées sur la figure 2.

Dans l'exemple, la largeur  $w$  d'un barreau est de l'ordre de 5 micromètres, la longueur  $l$  d'un barreau est de l'ordre de 20 micromètres et l'espace  $h$  entre deux barreaux est du même ordre (20 micromètres). Le film lui a une largeur de quelques micromètres, pour une épaisseur de quelques dixièmes de microns, ( $0,3 \mu m$  par exemple). Le substrat a une épaisseur de quelques centaines de micromètres, typiquement 300 à 1000  $\mu m$ .

Une source de courant non représentée fournit un courant de polarisation à chacune des jonctions Josephson, typiquement de l'ordre de 100 microampères pour la technologie prise en exemple. Dans l'exemple, ce



considérablement réduit. De cette façon, le bruit à court terme ou bruit de phase du signal d'entrée est réduit.

Les caractéristiques d'une ligne de transmission Josephson sont principalement les valeurs des inductances, fonction de la longueur de ligne et de la technologie, notamment l'inductance mutuelle  $L_m$  et des caractéristiques des jonctions; courant critique  $I_c$ , résistance normale  $R_n$ . Pour ne pas trop compliquer le dessin de la figure 2, ces caractéristiques bien connues des jonctions Josephson, ne sont représentées que pour la première jonction  $JJ_1$ .

10 Sur la figure 3, on donne un exemple de réalisation pratique d'un dispositif de réduction de phase selon l'invention avec un circuit supraconducteur du type à ligne de transmission Josephson comprenant une pluralité de jonctions Josephson, dans une technologie planaire à couche mince d'un supraconducteur à haute température critique (dans la suite, on  
15 utilise l'acronyme français de ce terme, soit HTC), sur substrat bi-cristal.

Deux substrats 1 et 2, typiquement des substrats  $SrTiO_3$ , ou encore des substrats  $MgO$ , ou  $YSZ$ , et dont les axes cristallins présentent un écart angulaire dans le plan de surface, sont soudés. Un film supraconducteur 3, typiquement un film d'un matériau de la forme  
20  $YBa_2Cu_3O_n$ ,  $6 \leq n \leq 7$ , est déposé (épitaxié) sur le plan de surface du bi-cristal, à cheval sur la ligne de soudure du substrat bi-cristal, en sorte qu'il se développe un joint de grain 4 tout le long de la soudure, sous le film supraconducteur, équivalent à une barrière électrique. Le film est ensuite gravé selon un motif d'échelle, chaque barreau de l'échelle correspondant à  
25 une jonction Josephson. Ce sont les parties grisées sur la figure 2.

Dans l'exemple, la largeur  $w$  d'un barreau est de l'ordre de 5 micromètres, la longueur  $l$  d'un barreau est de l'ordre de 20 micromètres et l'espace  $h$  entre deux barreaux est du même ordre (20 micromètres). Le film lui a une largeur de quelques micromètres, pour une épaisseur de quelques  
30 dixièmes de microns, ( $0,3 \mu m$  par exemple). Le substrat a une épaisseur de quelques centaines de micromètres, typiquement 300 à 1000  $\mu m$ .

Une source de courant non représentée fournit un courant de polarisation à chacune des jonctions Josephson, typiquement de l'ordre de  
35 100 microampères pour la technologie prise en exemple. Dans l'exemple, ce

courant de polarisation est appliquée entre deux électrodes C et C' de polarisation en courant formées sur une portion 3' du film supraconducteur 3, conformée (gravée) de façon à distribuer ce courant tout au long de la ligne, au moyen de branches d'amenées du courant prévues par paires  $b_1, b_1', b_2, b_2', \dots, b_{100}, b_{100}'$ , arrangées de part et d'autre de l'échelle formant la suite de jonctions. Dans l'exemple, une branche d'amenée de courant  $b_1$  et sa branche complémentaire  $b_1'$  côté ligne de masse polarisent en courant les deux jonctions  $JJ_1$  et  $JJ_2$  situées de part et d'autre de ces branches. Pour une ligne comprenant deux cent jonctions Josephson, la source de courant est dimensionnée pour fournir un courant de polarisation de l'ordre de quelques dizaines de milliampères, par exemple 20 mA, distribués le long de la ligne.

Les électrodes signal d'entrée et de sortie A, M, B, M', typiquement en cuivre ou en or, sont formées à chaque extrémité du film, et de part et d'autre du joint de grain 4.

Par exemple, on définit une ligne de transmission Josephson comprenant deux cent jonctions, longue de 2 millimètres environ, avec un courant critique  $I_c$  de jonction de 125 microampères et une résistance normale  $R_n$  de 2 ohms définissant une fréquence caractéristique  $f_c = I_c R_n / \phi_0 = 125 \cdot 10^{-6} \times 2 / 2,07 \cdot 10^{-15}$  webers = 116 gigahertz en technologie à films supraconducteurs (Niobium) (couches minces 0,1  $\mu m$ ) à haute température critique sous 30 Kelvin, avec un courant de polarisation de 100 microampères ( $< I_c$ ) pour chaque jonction. Si on applique en entrée de cette ligne un signal d'horloge de fréquence fondamentale  $f_0 \geq f_c/3$  de l'ordre de 50 à 100 Gigahertz et présentant des impulsions très décalées dans le temps (bruit à court terme), on peut prévoir en sortie un signal Sout dont le rapport bruit blanc sur signal est abaissé d'un facteur 10, soit de l'ordre de -130, -140 dBc (au lieu de -115, -120 dBc à l'entrée).

La figure 4a représente schématiquement la structure en réseau des fluxons générés dans une telle ligne, sous l'effet d'un signal impulsionnel de tension appliqué en entrée Sin.

Si on représente la ligne comme un canal 5, les impulsions de tension du signal Sin sont injectées à une extrémité de ce canal, à une fréquence horloge  $f_0$ . Des fluxons  $flx_1, flx_2, \dots, flx_m$  sont générés dans le canal 5, qui

courant de polarisation est appliquée entre deux électrodes C et C' de polarisation en courant formées sur une portion 3' du film supraconducteur 3, conformée (gravée) de façon à distribuer ce courant tout au long de la ligne, au moyen de branches d'amenées du courant prévues par paires  $b_1, b_1', b_2, b_2', \dots, b_{100}, b_{100}'$ , arrangées de part et d'autre de l'échelle formant la suite de jonctions. Dans l'exemple, une branche d'amenée de courant  $b_1$  et sa branche complémentaire  $b_1'$  côté ligne de masse polarisent en courant les deux jonctions  $JJ_1$  et  $JJ_2$  situées de part et d'autre de ces branches. Pour une ligne comprenant deux cent jonctions Josephson, la source de courant est dimensionnée pour fournir un courant de polarisation de l'ordre de quelques dizaines de milliampères, par exemple 20 mA, distribués le long de la ligne.

Les électrodes signal d'entrée et de sortie A, M, B, M', typiquement en cuivre ou en or, sont formées à chaque extrémité du film, et de part et d'autre du joint de grain 4.

Par exemple, on définit une ligne de transmission Josephson comprenant deux cent jonctions, longue de 2 millimètres environ, avec un courant critique  $I_c$  de jonction de 125 microampères et une résistance normale  $R_n$  de 2 ohms définissant une fréquence caractéristique  $f_c = I_c R_n / \phi_0 = 125 \cdot 10^{-6} \times 2 / 2,07 \cdot 10^{-15}$  webers = 116 gigahertz en technologie à films supraconducteurs (Niobium) (couches minces 0,1  $\mu m$ ) à haute température critique sous 30 Kelvin, avec un courant de polarisation de 100 microampères ( $< I_c$ ) pour chaque jonction. Si on applique en entrée de cette ligne un signal d'horloge de fréquence fondamentale  $f_0 \geq f_c/3$  de l'ordre de 50 à 100 Gigahertz et présentant des impulsions très décalées dans le temps (bruit à court terme), on peut prévoir en sortie un signal Sout dont le rapport bruit blanc sur signal est abaissé d'un facteur 10, soit de l'ordre de -130, -140 dBc (au lieu de -115, -120 dBc à l'entrée).

La figure 4a représente schématiquement la structure en réseau des fluxons générés dans une telle ligne, sous l'effet d'un signal impulsionnel de tension appliqué en entrée Sin.

Si on représente la ligne comme un canal 5, les impulsions de tension du signal Sin sont injectées à une extrémité de ce canal, à une fréquence horloge  $f_0$ . Des fluxons  $flx_1, flx_2, \dots, flx_m$  sont générés dans le canal 5, qui

s'organisent spatialement selon un réseau unidimensionnel correspondant à la direction de propagation des fluxons dans la ligne.

Du fait que l'on utilise une ligne de transmission, c'est à dire une ligne comportant un grand nombre de jonctions en sorte que la statistique des  
 5 grands nombres s'applique (par opposition à un circuit logique supraconducteur du type ne comportant qu'un petit nombre de jonctions, tel qu'un registre à décalage), un effet de redistribution spatiale se produit par lissage de la distance inter-fluxon autour d'une valeur moyenne  $d_0$ , qui  
 10 correspond à une valeur moyenne de l'intervalle de temps entre deux impulsions du signal d'entrée. En d'autres termes, l'écart type des valeurs des intervalles de temps entre les impulsions dans le signal de sortie est réduit. Plus précisément, et en relation avec la figure 4b, le bruit de phase du signal  $S_{in}$  appliqué en entrée se traduit dans ce signal par une distribution temporelle dispersée. Les fluxons générés sous l'effet de ce signal sont aussi  
 15 spatialement dispersés dans la ligne, comme représenté schématiquement sur la figure 4b. Comme on a choisit les caractéristiques de la ligne ( $f_c$ ) pour que la distance entre les fluxons générés par le signal d'entrée  $S_{in}$  soit en moyenne inférieure à la valeur de saturation de la ligne, il y a interaction répulsive entre les fluxons plus proches voisins. Sur la figure, ces répulsions  
 20 sont indiquées par des flèches. Dans l'exemple représenté sur cette figure, on suppose que la valeur de saturation correspond à un écart temporel de 22 picosecondes. Ainsi, dès lors que la distance inter fluxon correspond à un écart temporel inférieur à cette valeur, la répulsion mutuelle produit ses effets ( $flx_1-flx_2$ ,  $flx_2-flx_3$ ,  $flx_4-flx_5$ ). Si cette distance est supérieure, il n'y a pas d'effets  
 25 ( $flx_3-flx_4$ ). Après une phase transitoire correspondant en pratique à une vingtaine d'impulsions, on a un effet de redistribution spatiale des fluxons dans la ligne autour d'une valeur lissée de la distance inter fluxon. Dans l'exemple représenté schématiquement sur la figure 4c, cette valeur lissée, correspond à un écart temporel entre deux impulsions du signal de sortie  
 30 Sout égal à 20 picosecondes.

Le signal de sortie a ainsi ses impulsions de tension qui sont distribuées de façon plus homogène, correspondant à une réduction du niveau de bruit de phase, par rapport au niveau de signal à la fréquence fondamentale  $f_0$ . En pratique, avec une ligne de transmission telle que celle



s'organisent spatialement selon un réseau unidimensionnel correspondant à la direction de propagation des fluxons dans la ligne.

Du fait que l'on utilise une ligne de transmission, c'est à dire une ligne comportant un grand nombre de jonctions en sorte que la statistique des  
 5 grands nombres s'applique (par opposition à un circuit logique supraconducteur du type ne comportant qu'un petit nombre de jonctions, tel qu'un registre à décalage), un effet de redistribution spatiale se produit par lissage de la distance inter-fluxon autour d'une valeur moyenne  $d_0$ , qui correspond à une valeur moyenne de l'intervalle de temps entre deux  
 10 impulsions du signal d'entrée. En d'autres termes, l'écart type des valeurs des intervalles de temps entre les impulsions dans le signal de sortie est réduit. Plus précisément, et en relation avec la figure 4b, le bruit de phase du signal Sin appliqué en entrée se traduit dans ce signal par une distribution temporelle dispersée. Les fluxons générés sous l'effet de ce signal sont aussi  
 15 spatialement dispersés dans la ligne, comme représenté schématiquement sur la figure 4b. Comme on a choisit les caractéristiques de la ligne ( $f_c$ ) pour que la distance entre les fluxons générés par le signal d'entrée Sin soit en moyenne inférieure à la valeur de saturation de la ligne, il y a interaction répulsive entre les fluxons plus proches voisins. Sur la figure, ces répulsions  
 20 sont indiquées par des flèches. Dans l'exemple représenté sur cette figure, on suppose que la valeur de saturation correspond à un écart temporel de 22 picosecondes. Ainsi, dès lors que la distance inter fluxon correspond à un écart temporel inférieur à cette valeur, la répulsion mutuelle produit ses effets ( $flx_1-flx_2$ ,  $flx_2-flx_3$ ,  $flx_4-flx_5$ ). Si cette distance est supérieure, il n'y a pas d'effets  
 25 ( $flx_3-flx_4$ ). Après une phase transitoire correspondant en pratique à une vingtaine d'impulsions, on a un effet de redistribution spatiale des fluxons dans la ligne autour d'une valeur lissée de la distance inter fluxon. Dans l'exemple représenté schématiquement sur la figure 4c, cette valeur lissée, correspond à un écart temporel entre deux impulsions du signal de sortie  
 30 Sout égal à 20 picosecondes.

Le signal de sortie a ainsi ses impulsions de tension qui sont distribuées de façon plus homogène, correspondant à une réduction du niveau de bruit de phase, par rapport au niveau de signal à la fréquence fondamentale  $f_0$ . En pratique, avec une ligne de transmission telle que celle

représentée sur la figure 3, on a pu observer une réduction d'un facteur 10 du rapport  $N2/N1$  (figure 1).

Les figures 5a et 5b illustrent une variante de réalisation d'un dispositif de réduction de phase à circuit supraconducteur à ligne de transmission Josephson. Dans cette variante, le circuit supraconducteur comprend deux lignes de transmission Josephson. On soude alors un substrat 1 et un substrat 1' de part et d'autre d'un substrat 2, pour former le substrat tricristal. On dépose un film supraconducteur sur les zones 3a et 3b, un au-dessus de chaque soudure, de façon à développer un joint de grain respectif, 4a, 4b. Sur ces figures, les branches d'amenées de courant distribuées le long de la ligne sont des fils, typiquement en cuivre, des plots de contact correspondants 6 étant prévus sur les films.

Une telle réalisation permet d'améliorer l'efficacité de la redistribution spatiale dans les lignes, en ajoutant une autre dimension aux phénomènes d'interaction entre les fluxons. En disposant les films sur les zones 3a et 3b espacé l'un de l'autre d'un intervalle tel que la distance entre un fluxon dans un film et un fluxon dans l'autre film soit inférieure à la valeur de saturation, on observe le même phénomène d'interaction : en d'autres termes, pour un circuit supraconducteur à deux lignes de transmission Josephson, les fluxons générés dans le circuit s'organisent selon un réseau périodique bidimensionnel. Typiquement, pour les exemples numériques des valeurs caractéristiques de lignes et de fréquence  $f_0$  donnés précédemment, il faut prévoir un intervalle de quelques microns.

Pour que cet effet soit efficace, il faut favoriser une configuration stable (en quinconce) du réseau périodique bidimensionnel des fluxons ramenés au circuit supraconducteur, typiquement sur une base triangulaire. Sinon, la répulsion peut avoir aléatoirement un effet suivant le sens de propagation  $x$  de la ligne ou le sens contraire. On est alors en situation instable. Si on se réfère à la figure 5a où les deux films formant les lignes de transmission Josephson sont parfaitement alignés en  $x$  et  $y$ , on obtient le réseau voulu en déphasant de  $\pi$  le signal appliqué en entrée de la deuxième ligne. On obtient un réseau périodique bidimensionnel à base triangulaire comme illustré sur la figure 5b. Le fluxon  $flx$  d'une ligne subit alors les interactions dues à quatre fluxons : deux fluxons  $flx_1$  et  $flx_2$  de part et d'autre de ce fluxon  $flx$ , sur la même ligne, et deux fluxons  $flx_3$  et  $flx_4$  sur l'autre

représentée sur la figure 3, on a pu observer une réduction d'un facteur 10 du rapport  $N2/N1$  (figure 1).

Les figures 5a et 5b illustrent une variante de réalisation d'un dispositif de réduction de phase à circuit supraconducteur à ligne de transmission Josephson. Dans cette variante, le circuit supraconducteur comprend deux lignes de transmission Josephson. On soude alors un substrat 1 et un substrat 1' de part et d'autre d'un substrat 2, pour former le substrat tricristal. On dépose un film supraconducteur sur les zones 3a et 3b, un au-dessus de chaque soudure, de façon à développer un joint de grain respectif, 4a, 4b. Sur ces figures, les branches d'aménées de courant distribuées le long de la ligne sont des fils, typiquement en cuivre, des plots de contact correspondants 6 étant prévus sur les films.

Une telle réalisation permet d'améliorer l'efficacité de la redistribution spatiale dans les lignes, en ajoutant une autre dimension aux phénomènes d'interaction entre les fluxons. En disposant les films sur les zones 3a et 3b espacé l'un de l'autre d'un intervalle tel que la distance entre un fluxon dans un film et un fluxon dans l'autre film soit inférieure à la valeur de saturation, on observe le même phénomène d'interaction : en d'autres termes, pour un circuit supraconducteur à deux lignes de transmission Josephson, les fluxons générés dans le circuit s'organisent selon un réseau périodique bidimensionnel. Typiquement, pour les exemples numériques des valeurs caractéristiques de lignes et de fréquence  $f_0$  donnés précédemment, il faut prévoir un intervalle de quelques microns.

Pour que cet effet soit efficace, il faut favoriser une configuration stable (en quinconce) du réseau périodique bidimensionnel des fluxons ramenés au circuit supraconducteur, typiquement sur une base triangulaire. Sinon, la répulsion peut avoir aléatoirement un effet suivant le sens de propagation  $x$  de la ligne ou le sens contraire. On est alors en situation instable. Si on se réfère à la figure 5a où les deux films formant les lignes de transmission Josephson sont parfaitement alignés en  $x$  et  $y$ , on obtient le réseau voulu en déphasant de  $\pi$  le signal appliqué en entrée de la deuxième ligne. On obtient un réseau périodique bidimensionnel à base triangulaire comme illustré sur la figure 5b. Le fluxon  $flx$  d'une ligne subit alors les interactions dues à quatre fluxons : deux fluxons  $flx_1$  et  $flx_2$  de part et d'autre de ce fluxon  $flx$ , sur la même ligne, et deux fluxons  $flx_3$  et  $flx_4$  sur l'autre

ligne, situés de part et d'autre la bissectrice 7 de cette ligne passant par le fluxon flx.

Le déphasage de  $\pi$  peut être appliqué de différentes façon, comme représenté sur les figures 6a et 6b :

5 Sur la figure 6a, le déphasage de  $\pi$  est appliqué sur le signal d'entrée Sin. On prévoit alors de préférence que le signal issu de la source quasi-périodique 100 est appliqué à un circuit 101 pour être dupliqué en sortie. Un exemple de réalisation en logique RSFQ de ce circuit 101 est détaillé sur la figure, à titre d'exemple pratique.

10 Sur la figure 6b, le déphasage de  $\pi$  est appliqué au signal de sortie Sout<sub>1</sub> de la première ligne, et injecté dans la deuxième ligne. Dans ce cas les fluxons en début de la première ligne bénéficient de la redistribution spatiale déjà obtenue en sortie de cette première ligne : on a un effet rétro-actif positif. Une ligne d'interconnexion 102 est alors prévue pour amener le signal  
15 de sortie de la première ligne en entrée du déphaseur de la deuxième ligne. Cette ligne est typiquement réalisée selon une technologie de type coplanaire, strip, microstrip et avec des matériaux compatibles avec la technologie des lignes de transmission Josephson utilisée, ou peut également être une ligne de transmission Josephson.

20 Les deux lignes de transmission Josephson peuvent ne pas être alignées avec précision sur le substrat, la ligne d'interconnexion 102 peut aussi introduire un retard tel que les signaux de sortie Sout<sub>1</sub> et Sou<sub>2</sub> ne soit pas parfaitement déphasés de  $\pi$ . Dans ce cas les interactions entre les lignes peuvent ne pas être optimales. On prévoit avantageusement de  
25 pouvoir modifier localement le courant de polarisation ip d'une ou plusieurs jonctions, pour adapter localement la vitesse de propagation des fluxons. Cette correction est facilement mise en œuvre du fait de la distribution du courant tout le long de la ligne, par des branches (figure 3) ou des fils (figure 5a) d'amenées du courant. Ainsi, on prévoit que le courant de polarisation ip  
30 des jonctions est de préférence variable, ajustable par jonction ou groupes de jonctions.

On peut en outre prévoir plus de deux lignes de transmission en parallèle dans le plan de surface du substrat. Sur la figure 6c, on a illustré un  
35 exemple de circuit à trois lignes de transmission Josephson. Pour obtenir un effet positif d'interaction entre les lignes, qui favorise le déplacement des



ligne, situés de part et d'autre la bissectrice 7 de cette ligne passant par le fluxon  $\text{flx}$ .

Le déphasage de  $\pi$  peut être appliqué de différentes façon, comme représenté sur les figures 6a et 6b :

5 Sur la figure 6a, le déphasage de  $\pi$  est appliqué sur le signal d'entrée  $\text{Sin}$ . On prévoit alors de préférence que le signal issu de la source quasi-périodique 100 est appliqué à un circuit 101 pour être dupliqué en sortie. Un exemple de réalisation en logique RSFQ de ce circuit 101 est détaillé sur la figure, à titre d'exemple pratique.

10 Sur la figure 6b, le déphasage de  $\pi$  est appliqué au signal de sortie  $\text{Sout}_1$  de la première ligne, et injecté dans la deuxième ligne. Dans ce cas les fluxons en début de la première ligne bénéficient de la redistribution spatiale déjà obtenue en sortie de cette première ligne : on a un effet rétro-actif positif. Une ligne d'interconnexion 102 est alors prévue pour amener le signal  
15 de sortie de la première ligne en entrée du déphaseur de la deuxième ligne. Cette ligne est typiquement réalisée selon une technologie de type coplanaire, strip, microstrip et avec des matériaux compatibles avec la technologie des lignes de transmission Josephson utilisée, ou peut également être une ligne de transmission Josephson.

20 Les deux lignes de transmission Josephson peuvent ne pas être alignées avec précision sur le substrat, la ligne d'interconnexion 102 peut aussi introduire un retard tel que les signaux de sortie  $\text{Sout}_1$  et  $\text{Sou}_2$  ne soit pas parfaitement déphasés de  $\pi$ . Dans ce cas les interactions entre les lignes peuvent ne pas être optimales. On prévoit avantageusement de  
25 pouvoir modifier localement le courant de polarisation  $i_p$  d'une ou plusieurs jonctions, pour adapter localement la vitesse de propagation des fluxons. Cette correction est facilement mise en œuvre du fait de la distribution du courant tout le long de la ligne, par des branches (figure 3) ou des fils (figure 5a) d'amenées du courant. Ainsi, on prévoit que le courant de polarisation  $i_p$   
30 des jonctions est de préférence variable, ajustable par jonction ou groupes de jonctions.

On peut en outre prévoir plus de deux lignes de transmission en parallèle dans le plan de surface du substrat. Sur la figure 6c, on a illustré un exemple de circuit à trois lignes de transmission Josephson. Pour obtenir un  
35 effet positif d'interaction entre les lignes, qui favorise le déplacement des

fluxons dans le sens de propagation  $x$  des lignes, on prévoit une ligne centrale  $Li_1$ , recevant en entrée le signal d'entrée  $Sin$ , et deux lignes  $Li_2$  et  $Li_3$  de part et d'autre, recevant en entrée un signal déphasé de  $\pi$ , qui peut être le signal d'entrée  $Sin$  comme représenté (cas de la figure 6a) ou le signal de  
 5 sortie  $Sout_1$  de la première ligne (cas de la figure 6b). On a toujours une organisation des fluxons selon un réseau périodique bidimensionnel, mais le nombre de lignes de ce réseau est augmenté. De cette façon, les fluxons de la ligne centrale  $Li_1$ , sont soumis aux interactions de leur propre ligne et aux interactions dues aux deux autres lignes, soit pour chaque fluxon,  
 10 jusqu'à six interactions dues aux six fluxons les plus proches voisins, deux par ligne.

En augmentant le nombre de lignes en parallèles, on augmente le nombre d'interactions. Dans l'exemple à trois lignes (figure 6c), la ligne centrale  $Li_1$  bénéficie des interactions dues aux deux lignes  $Li_2$  et  $Li_3$  situées  
 15 de part et d'autre, mais les lignes  $Li_2$  et  $Li_3$  ne bénéficient chacune que des interactions dues à la ligne  $Li_1$ .

Le choix d'un plus grand nombre de lignes va dépendre du dimensionnement du dispositif que l'application peut admettre. On notera que dans le cas de  $n$  lignes en parallèles, chaque ligne peut alors être  
 20 prévue moins longue, c'est à dire avec moins de jonctions, du fait de l'effet rétro-actif de la redistribution combiné à la dimension supplémentaire des interactions dans le réseau bidimensionnel ainsi constitué. Les dimensionnements sont évalués en sorte que la statistique des grands nombre puisse s'appliquer, pour produire l'effet de lissage de la distance  
 25 interfluxon désiré.

La figure 8a représente un autre exemple de réalisation d'une ligne de transmission Josephson, qui peut être utilisé dans toutes les variantes de réalisation d'un dispositif de réduction de phase selon l'invention qui viennent d'être décrites. La figure 8b peut être utilisée dans une structure de ligne  
 30 simple ou de lignes multiples, mais alors empilées verticalement. Dans ces deux figures 8a et 8b, il s'agit de lignes en technologie de jonctions sur rampe, qui est une technologie multicouche SNS, acronyme de Supraconducteur-Matériau Normal ou Isolant-Supraconducteur. Le matériau normal ou isolant est par exemple le  $PrBaCuO$  non supraconducteur,  
 35 matériau de structure analogue à  $YBaCuO$ , compatible avec les

fluxons dans le sens de propagation  $x$  des lignes, on prévoit une ligne centrale  $Li_1$ , recevant en entrée le signal d'entrée  $Sin$ , et deux lignes  $Li_2$  et  $Li_3$  de part et d'autre, recevant en entrée un signal déphasé de  $\pi$ , qui peut être le signal d'entrée  $Sin$  comme représenté (cas de la figure 6a) ou le signal de sortie  $Sout_1$  de la première ligne (cas de la figure 6b). On a toujours une organisation des fluxons selon un réseau périodique bidimensionnel, mais le nombre de lignes de ce réseau est augmenté. De cette façon, les fluxons de la ligne centrale  $Li_1$ , sont soumis aux interactions de leur propre ligne et aux interactions dues aux deux autres lignes, soit pour chaque fluxon, jusqu'à six interactions dues aux six fluxons les plus proches voisins, deux par ligne.

En augmentant le nombre de lignes en parallèles, on augmente le nombre d'interactions. Dans l'exemple à trois lignes (figure 6c), la ligne centrale  $Li_1$  bénéficie des interactions dues aux deux lignes  $Li_2$  et  $Li_3$  situées de part et d'autre, mais les lignes  $Li_2$  et  $Li_3$  ne bénéficient chacune que des interactions dues à la ligne  $Li_1$ .

Le choix d'un plus grand nombre de lignes va dépendre du dimensionnement du dispositif que l'application peut admettre. On notera que dans le cas de  $n$  lignes en parallèles, chaque ligne peut alors être prévue moins longue, c'est à dire avec moins de jonctions, du fait de l'effet rétro-actif de la redistribution combiné à la dimension supplémentaire des interactions dans le réseau bidimensionnel ainsi constitué. Les dimensionnements sont évalués en sorte que la statistique des grands nombre puisse s'appliquer, pour produire l'effet de lissage de la distance interfluxon désiré.

Dans le cas de  $n$  lignes en parallèle, les lignes de rang pair reçoivent le signal d'entrée ( $Se$ ), les lignes de rang impair reçoivent le signal d'entrée au travers d'un circuit déphaseur et le signal de sortie est fourni en sortie d'une des lignes.

La figure 8a représente un autre exemple de réalisation d'une ligne de transmission Josephson, qui peut être utilisé dans toutes les variantes de réalisation d'un dispositif de réduction de phase selon l'invention qui viennent d'être décrites. La figure 8b peut être utilisée dans une structure de ligne simple ou de lignes multiples, mais alors empilées verticalement. Dans ces deux figures 8a et 8b, il s'agit de lignes en technologie de jonctions sur

caractéristiques de maille du supraconducteur. Une forme de peigne 11 comprend un premier film supraconducteur 9 (couche mince) déposé sur une hétérostructure (8) de matériau normal ou isolant déposé sur l'électrode de base supraconductrice en grisé sur les figures, sur un substrat. Les dents du peigne ont une forme de rampe décroissante vers le substrat. Une fine couche d'isolant et un deuxième film supraconducteur 10 en forme de peigne sont déposés sur le substrat, l'extrémité des dents de ce peigne venant par dessus l'extrémité des dents du film 9 en supraconducteur du premier peigne. Les jonctions  $JJ_1$ ,  $JJ_2$ ,...etc, sont ainsi formées dans le plan à l'endroit où la couche 8 de matériau normal ou isolant est amincie, entre les deux films 9 et 10 de supraconducteur.

La figure 8b est une variante de la figure 8a dans laquelle le deuxième film 10 de supraconducteur est "replié" sur le premier film 9, ce qui permet un gain de surface non négligeable.

La figure 9a représente un autre mode de réalisation d'un dispositif de réduction du bruit de phase, à circuit supraconducteur à ligne de transmission d'impulsions de tension. Dans ce mode, la ligne de transmission est réalisée par une jonction Josephson longue. Une telle jonction est typiquement obtenue dans une technologie tri-couche SIS, de préférence à supraconducteur à basse température critique : une couche mince 20 de matériau normal (ou isolant) (par exemple  $Al_2O_3$ ), formant barrière entre deux couches 21 et 22 de supraconducteur (par exemple du Niobium). Un courant de polarisation  $i$  inférieur au courant critique  $I_c$  de la jonction longue Josephson est appliqué entre les deux couches 21 et 22 de supraconducteur. L'application d'impulsions en entrée de la ligne génère des flux de vortex (vortex Josephson) dans la couche de matériau normal qui sous l'effet du courant de polarisation (continu) de la ligne (force de Lorentz), se propagent vers la sortie. Le quantum de flux associé à chaque vortex est égal à  $\phi_0$ . Les mêmes effets d'interaction répulsive s'appliquent à ces flux de vortex générés sous l'effet du signal d'horloge  $\sin$ , qui s'organisent dans la ligne selon un réseau périodique unidimensionnel, et qui se propagent selon le sens de propagation  $x$  de la ligne.

Dans un exemple de réalisation typique, une telle ligne aura une longueur d'une centaine de nanomètres.



rampe, qui est une technologie multicouche SNS, acronyme de Supraconducteur-Matériau Normal ou Isolant-Supraconducteur. Le matériau normal ou isolant est par exemple le PrBaCuO non supraconducteur, matériau de structure analogue à YBaCuO, compatible avec les caractéristiques de maille du supraconducteur. Une forme de peigne 11 comprend un premier film supraconducteur 9 (couche mince) déposé sur une hétérostructure (8) de matériau normal ou isolant déposé sur l'électrode de base supraconductrice en grisé sur les figures, sur un substrat. Les dents du peigne ont une forme de rampe décroissante vers le substrat. Une fine couche d'isolant et un deuxième film supraconducteur 10 en forme de peigne sont déposés sur le substrat, l'extrémité des dents de ce peigne venant par dessus l'extrémité des dents du film 9 en supraconducteur du premier peigne. Les jonctions  $JJ_1$ ,  $JJ_2$ ,...etc, sont ainsi formées dans le plan à l'endroit où la couche 8 de matériau normal ou isolant est amincie, entre les deux films 9 et 10 de supraconducteur.

La figure 8b est une variante de la figure 8a dans laquelle le deuxième film 10 de supraconducteur est "replié" sur le premier film 9, ce qui permet un gain de surface non négligeable.

La figure 9a représente un autre mode de réalisation d'un dispositif de réduction du bruit de phase, à circuit supraconducteur à ligne de transmission d'impulsions de tension. Dans ce mode, la ligne de transmission est réalisée par une jonction Josephson longue. Une telle jonction est typiquement obtenue dans une technologie tri-couche SIS, de préférence à supraconducteur à basse température critique : une couche mince 20 de matériau normal (ou isolant) (par exemple  $Al_2O_3$ ), formant barrière entre deux couches 21 et 22 de supraconducteur (par exemple du Niobium). Un courant de polarisation  $i$  inférieur au courant critique  $I_c$  de la jonction longue Josephson est appliqué entre les deux couches 21 et 22 de supraconducteur. L'application d'impulsions en entrée de la ligne génère des flux de vortex (vortex Josephson) dans la couche de matériau normal qui sous l'effet du courant de polarisation (continu) de la ligne (force de Lorentz), se propagent vers la sortie. Le quantum de flux associé à chaque vortex est égal à  $\phi_0$ . Les mêmes effets d'interaction répulsive s'appliquent à ces flux de vortex générés sous l'effet du signal d'horloge  $\sin$ , qui s'organisent dans la

On peut mettre en parallèle plusieurs de ces lignes pour obtenir les mêmes effets avantageux vus précédemment, en les empilant verticalement, ce qui est faisable, mais plus délicat, comme représenté sur la figure 9b .

Le courant est de préférence distribué le long de la ligne comme représenté sur la figure 9b.

Un autre mode de réalisation d'un dispositif de réduction du bruit de phase selon l'invention est représenté sur les figures 10a et 10b, correspondant à un circuit supraconducteur de type II, à ligne active de transmission à flux de vortex d'Abrikosov. Le principe des flux de vortex d'Abrikosov est succinctement le suivant : en présence d'un champ magnétique croissant, le supraconducteur passe dans un état mixte normal-supraconducteur. Des courants se développent en surface du supraconducteur qui tendent à écranter le champ magnétique. Le flux magnétique qui rentre dans le supraconducteur se retrouve sous forme de lignes de champ regroupées en surface sur un disque de quelques dizaines d'angströms de rayon. Le flux contenu dans cette petite zone délimitée par des courants d'écrantage du champ magnétique qui circulent autour est égal à un quantum de flux  $\phi_0$ . Ces flux de vortex s'organisent selon un réseau périodique à base triangulaire en surface, comme représenté sur la figure 11. En injectant un courant continu orienté convenablement, ce réseau de flux de vortex se propage en translation, selon une direction orthogonale au courant (force de Lorentz).

Un avantage d'une telle ligne de transmission est que les flux de vortex s'organisent "naturellement" selon un réseau périodique bidimensionnel à base triangulaire.

En polarisant convenablement en courant le dispositif, l'application en entrée d'un signal électromagnétique génère un réseau de flux de vortex, qui se déplace en lignes lv (figure 11) selon cette structure de réseau. En sortie, un dispositif de réception (une charge adaptée quelconque) reçoit les impulsions de tension associées.

En outre, si dans le matériau supraconducteur utilisé, par exemple du  $\text{NdBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_7$ , les plans de macle sont disposés en parallèle, cette organisation devient naturelle : les lignes lv correspondent aux plans de macles.

ligne selon un réseau périodique unidimensionnel, et qui se propagent selon le sens de propagation  $x$  de la ligne.

Dans un exemple de réalisation typique, une telle ligne aura une longueur d'une centaine de nanomètres.

5 On peut mettre en parallèle plusieurs de ces lignes pour obtenir les mêmes effets avantageux vus précédemment, en les empilant verticalement, ce qui est faisable, mais plus délicat, comme représenté sur la figure 9b .

Le courant est de préférence distribué le long de la ligne comme représenté sur la figure 9b.

10 L'intensité du courant de polarisation peut être ajusté en fonction de la fréquence du signal d'entrée.

Un autre mode de réalisation d'un dispositif de réduction du bruit de phase selon l'invention est représenté sur les figures 10a et 10b, correspondant à un circuit supraconducteur de type II, à ligne active de transmission à flux de vortex d'Abrikosov. Le principe des flux de vortex d'Abrikosov est succinctement le suivant : en présence d'un champ magnétique croissant, le supraconducteur passe dans un état mixte normal-supraconducteur. Des courants se développent en surface du supraconducteur qui tendent à écranter le champ magnétique. Le flux magnétique qui rentre dans le supraconducteur se retrouve sous forme de lignes de champ regroupées en surface sur un disque de quelques dizaines d'angströms de rayon. Le flux contenu dans cette petite zone délimitée par des courants d'écrantage du champ magnétique qui circulent autour est égal à un quantum de flux  $\phi_0$ . Ces flux de vortex s'organisent selon un réseau périodique à base triangulaire en surface, comme représenté sur la figure 11. En injectant un courant continu orienté convenablement, ce réseau de flux de vortex se propage en translation, selon une direction orthogonale au courant (force de Lorentz).

Un avantage d'une telle ligne de transmission est que les flux de vortex s'organisent "naturellement" selon un réseau périodique bidimensionnel à base triangulaire.

En polarisant convenablement en courant le dispositif, l'application en entrée d'un signal électromagnétique génère un réseau de flux de vortex, qui se déplace en lignes  $lv$  (figure 11) selon cette structure de réseau. En sortie,

Selon l'invention, le circuit supraconducteur actif comprend (figures 10a, 10b), un film (couche mince) de supraconducteur 13 de type II, tel que  $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_7$  ou  $\text{NdBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_7$  déposé (épitaxié) sur un substrat 12, par exemple, un substrat de  $\text{SrTiO}_3$ . Une fente 14 est pratiquée sur toute la  
 5 largeur du film, ne laissant qu'un micropont 15 de film supraconducteur entre les deux parties 13a et 13b du film, de part et d'autre de la fente. Ce micropont a une hauteur inférieure ou égale à l'épaisseur du film. Dans l'exemple, ce micropont a une hauteur  $e$  de l'ordre de 0,1 micromètre, pour une longueur  $L$  de micropont, selon la direction de la fente, inférieure à cent  
 10 micromètres et une largeur  $W$ , qui est aussi la largeur de la fente, supérieure à cent micromètres.

Deux électrodes de polarisation 16 et 17 en courant continu  $i$  de quelques milliampères environ sont prévues à chaque extrémité du film. Deux électrodes signal d'entrée 18 et 19 sont prévues à une extrémité de la  
 15 fente, sur chaque partie 13a, 13b du film de part et d'autre de la fente, pour appliquer le signal d'entrée  $\text{Sin}$ , alternatif, tel qu'il impose périodiquement à l'entrée du micropont un champ magnétique local  $B_e$  supérieure au champ critique, de manière à générer des vortex  $v$  à la période de ce signal. Le signal d'entrée peut être un signal impulsionnel de tension. On peut aussi  
 20 appliquer un signal alternatif de type sinusoïdal. En pratique la source du signal d'horloge (non représentée) est adaptée en impédance, par rapport à l'impédance du micropont (quelques dizaines d'ohms).

Deux électrodes signal de sortie 20 et 21 sont prévues à l'autre extrémité de la fente, sur chaque partie 13a, 13b du film de part et d'autre de  
 25 la fente, pour recueillir en sortie les impulsions de tension correspondant à la transmission en ligne des vortex (figure 11).

En pratique, chaque impulsion de tension (ou chaque tension crête positive du signal alternatif) fait passer le champ magnétique local  $B_e$  en entrée du micropont au-dessus du champ critique du film supraconducteur  
 30 provoquant la nucléation d'une collection de vortex. Le courant continu  $i$  appliqué orthogonalement (force de Lorentz) selon la direction appropriée induit la circulation des vortex.

La génération des vortex est obtenue par la modulation du champ magnétique par le signal d'horloge appliqué en entrée. La polarisation



un dispositif de réception (une charge adaptée quelconque) reçoit les impulsions de tension associées.

En outre, si dans le matériau supraconducteur utilisé, par exemple du  $\text{NdBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_7$ , les plans de macle sont disposés en parallèle, cette organisation devient naturelle : les lignes  $lv$  correspondent aux plans de macles.

Selon l'invention, le circuit supraconducteur actif comprend (figures 10a, 10b), un film (couche mince) de supraconducteur 13 de type II, tel que  $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_7$  ou  $\text{NdBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_7$  déposé (épitaxié) sur un substrat 12, par exemple, un substrat de  $\text{SrTiO}_3$ . Une fente 14 est pratiquée sur toute la largeur du film, ne laissant qu'un micropont 15 de film supraconducteur entre les deux parties 13a et 13b du film, de part et d'autre de la fente. Ce micropont a une hauteur inférieure ou égale à l'épaisseur du film. Dans l'exemple, ce micropont a une hauteur  $e$  de l'ordre de 0,1 micromètre, pour une longueur  $L$  de micropont, selon la direction de la fente, inférieure à cent micromètres et une largeur  $W$ , qui est aussi la largeur de la fente, supérieure à cent micromètres.

Deux électrodes de polarisation 16 et 17 en courant continu  $i$  de quelques milliampères environ sont prévues à chaque extrémité du film. Deux électrodes signal d'entrée 18 et 19 sont prévues à une extrémité de la fente, sur chaque partie 13a, 13b du film de part et d'autre de la fente, pour appliquer le signal d'entrée  $S_{in}$ , alternatif, tel qu'il impose périodiquement à l'entrée du micropont un champ magnétique local  $B_e$  supérieure au champ critique, de manière à générer des vortex  $v$  à la période de ce signal. Le signal d'entrée peut être un signal impulsionnel de tension. On peut aussi appliquer un signal alternatif de type sinusoïdal. En pratique la source du signal d'horloge (non représentée) est adaptée en impédance, par rapport à l'impédance du micropont (quelques dizaines d'ohms).

Deux électrodes signal de sortie 20 et 21 sont prévues à l'autre extrémité de la fente, sur chaque partie 13a, 13b du film de part et d'autre de la fente, pour recueillir en sortie les impulsions de tension correspondant à la transmission en ligne des vortex (figure 11).

En pratique, chaque impulsion de tension (ou chaque tension crête positive du signal alternatif) fait passer le champ magnétique local  $B_e$  en entrée du micropont au-dessus du champ critique du film supraconducteur

convenable du circuit induit la propagation des vortex selon la direction désirée, vers la sortie Sout du dispositif.

Pour favoriser encore le déplacement des vortex dans le sens désiré, on peut prévoir de placer le dispositif dans un champ magnétique continu  
5 faible B, par exemple de l'ordre de vingt milliteslas, orienté convenablement, en sorte que les vortex soient orientés dans le même sens, par exemple en plaçant une paire de bobines de Helmholtz de part et d'autre du circuit.

Un tel circuit supraconducteur peut être avantageusement utilisé dans un étage doubleur de fréquence comme indiqué précédemment, avec un  
10 autre circuit similaire associé à un circuit déphaseur, dans un dispositif de multiplication de fréquence.

L'invention qui vient d'être décrite utilise ainsi la structure périodique du réseau des quantums de flux générés (fluxons, vortex) et la propriété  
15 d'interaction répulsive de ces quantums de flux (assimilables à des dipôles magnétiques) pour réduire le bruit de phase d'un signal issu d'une source quasi-périodique. Une utilisation avantageuse de ce dispositif selon l'invention permet de fournir un signal de fréquence multiple sans dégradation du bruit de phase.

20 L'invention s'applique plus particulièrement dans le domaine de la haute et très haute fréquence, dans des systèmes d'électronique rapide. En particulier, un tel dispositif peut être utilisé dans des circuits logiques RSFQ.

provoquant la nucléation d'une collection de vortex. Le courant continu  $i$  appliqué orthogonalement (force de Lorentz) selon la direction appropriée induit la circulation des vortex.

La génération des vortex est obtenue par la modulation du champ magnétique par le signal d'horloge appliqué en entrée. La polarisation convenable du circuit induit la propagation des vortex selon la direction désirée, vers la sortie Sout du dispositif.

Pour favoriser encore le déplacement des vortex dans le sens désiré, on peut prévoir de placer le dispositif dans un champ magnétique continu faible  $B$ , par exemple de l'ordre de vingt milliteslas, orienté convenablement, en sorte que les vortex soient orientés dans le même sens, par exemple en plaçant une paire de bobines de Helmholtz de part et d'autre du circuit.

Un tel circuit supraconducteur peut être avantageusement utilisé dans un étage doubleur de fréquence comme indiqué précédemment, avec un autre circuit similaire associé à un circuit déphaseur, dans un dispositif de multiplication de fréquence.

Ainsi, dans ce mode de réalisation, la ligne de transmission comprend un film supraconducteur de type II à l'état mixte, déposé sur un substrat cristallin. Le film est polarisé en courant à ses extrémités et comprend une fente dans le sens de la largeur, excepté à l'endroit d'un micropont, la fente séparant le film en deux parties. Le signal quasi-périodique est appliqué à une extrémité de la fente, entre les deux parties du film et le signal de sortie est obtenu à l'autre extrémité de la fente, entre les deux parties du film.

Avantageusement, un tel dispositif à supraconducteur est plongé dans un champ magnétique continu orienté perpendiculairement au plan de surface de la fente.

L'invention qui vient d'être décrite utilise ainsi la structure périodique du réseau des quantums de flux générés (fluxons, vortex) et la propriété d'interaction répulsive de ces quantums de flux (assimilables à des dipôles magnétiques) pour réduire le bruit de phase d'un signal issu d'une source quasi-périodique. Une utilisation avantageuse de ce dispositif selon l'invention permet de fournir un signal de fréquence multiple sans dégradation du bruit de phase.

L'invention s'applique plus particulièrement dans le domaine de la haute et très haute fréquence, dans des systèmes d'électronique rapide. En particulier, un tel dispositif peut être utilisé dans des circuits logiques RSFQ.



## REVENDEICATIONS

1. Dispositif de réduction du bruit de phase d'un signal (Sin) issu d'une source quasi périodique de fréquence fondamentale  $f_0$ , caractérisé en ce qu'il comprend un système physique de transmission d'impulsions par transfert de particules, ledit système physique étant défini pour avoir une  
5 fréquence caractéristique  $f_c$  telle qu'à la fréquence fondamentale  $f_0$  du signal quasi-périodique (Sin) appliqué en entrée, lesdites particules ont une interaction répulsive entre elles, ledit système fournissant en sortie un signal d'impulsions de tension de fréquence fondamentale  $f_0$ .
2. Dispositif de réduction du bruit de phase d'un signal (Sin), issu  
10 d'une source quasi-périodique de fréquence fondamentale  $f_0$  selon la revendication 1, caractérisé en ce qu'il comprend un circuit supraconducteur à ligne active de transmission d'impulsions de tensions par transfert de quanta de flux  $\phi_0$ , ledit circuit étant défini pour avoir une fréquence caractéristique  $f_c$  telle que  $0,3 f_c$  soit inférieur ou égal à la fréquence  
15 fondamentale  $f_0$  du signal quasi-périodique (Sin) appliqué en entrée, et fournissant en sortie un signal d'impulsions de tension de fréquence fondamentale  $f_0$ .
3. Dispositif de réduction du bruit de phase, comprenant au moins  
20 deux circuits supraconducteurs selon la revendication 1 ou 2, un circuit de déphasage de  $\pi$  de l'entrée ou de la sortie d'un desdits circuits et un circuit de confluence pour réaliser un étage doubleur de fréquence dans un circuit de multiplication de fréquence.
- 25 4. Dispositif de réduction du bruit de phase selon la revendication 2 ou 3, caractérisé en ce que le circuit supraconducteur comprend une ligne de transmission Josephson définie géométriquement avec ladite fréquence caractéristique.

5. Dispositif de réduction du bruit de phase selon la revendications 4, caractérisé en ce que la ligne de transmission Josephson est à jonction longue Josephson.

5 6. Dispositif de réduction du bruit de phase selon la revendication 4, caractérisé en ce que ladite ligne de transmission comprend une pluralité de jonctions Josephson shuntées en parallèle.

7. Dispositif de réduction du bruit de phase selon la revendication 6, caractérisé en ce que chaque ligne de transmission Josephson est du type ligne à jonctions sur bicristal.

8. Dispositif de réduction du bruit de phase selon la revendication 6, caractérisé en ce que chaque ligne de transmission Josephson est du type ligne à jonctions sur rampe.

9. Dispositif de réduction du bruit de phase selon l'une quelconque des revendications 5 à 8, caractérisé en ce que le circuit supraconducteur comprend plusieurs lignes de transmission Josephson disposées en parallèle dans un même plan de surface.

10. Dispositif de réduction du bruit de phase selon la revendication 9, caractérisé en ce qu'il comprend un circuit de déphasage de  $\pi$  en entrée d'au moins une ligne de transmission.

11. Dispositif de réduction du bruit de phase selon la revendication 10, caractérisé en ce que ledit circuit de déphasage reçoit en entrée le signal d'entrée ( $S_e$ ) du dispositif.

12. Dispositif de réduction du bruit de phase selon la revendication 10, caractérisé en ce que ledit circuit de déphasage reçoit en entrée le signal de sortie d'une ligne.

13. Dispositif de réduction du bruit de phase selon la revendication 9, caractérisé en ce que le circuit supraconducteur comprend  $n$  lignes de

## REVENDICATIONS

1. Dispositif de réduction du bruit de phase d'un signal (Sin) issu d'une source quasi périodique de fréquence fondamentale  $f_0$ , caractérisé en ce qu'il comprend un système physique de transmission d'impulsions par transfert de particules, ledit système physique étant défini pour avoir une  
5 fréquence caractéristique  $f_c$  telle qu'à la fréquence fondamentale  $f_0$  du signal quasi-périodique (Sin) appliqué en entrée, lesdites particules ont une interaction répulsive entre elles, ledit système fournissant en sortie un signal d'impulsions de tension de fréquence fondamentale  $f_0$ .

2. Dispositif de réduction du bruit de phase d'un signal (Sin), issu  
10 d'une source quasi-périodique de fréquence fondamentale  $f_0$  selon la revendication 1, caractérisé en ce qu'il comprend un circuit supraconducteur à ligne active de transmission d'impulsions de tensions par transfert de quanta de flux  $\phi_0$ , ledit circuit étant défini pour avoir une fréquence caractéristique  $f_c$  telle que  $0,3 f_c$  soit inférieur ou égal à la fréquence  
15 fondamentale  $f_0$  du signal quasi-périodique (Sin) appliqué en entrée, et fournissant en sortie un signal d'impulsions de tension de fréquence fondamentale  $f_0$ .

3. Dispositif de réduction du bruit de phase, comprenant au moins  
20 deux circuits supraconducteurs selon la revendication 1 ou 2, un circuit de déphasage de  $\pi$  de l'entrée ou de la sortie d'un desdits circuits et un circuit de confluence pour réaliser un étage doubleur de fréquence dans un circuit de multiplication de fréquence.

25 4. Dispositif de réduction du bruit de phase selon la revendication 2 ou 3, caractérisé en ce que le circuit supraconducteur comprend une ligne de transmission Josephson définie géométriquement avec ladite fréquence caractéristique.

transmission Josephson de rang 1 à n dans un même plan de surface d'un substrat, avec n entier  $\geq 2$ , les lignes de rang pair recevant le signal d'entrée (Se), les lignes de rang impair recevant ledit signal d'entrée au travers d'un circuit déphaseur, le signal de sortie étant fourni en sortie d'une des n lignes.

5

14. Dispositif de réduction du bruit de phase selon l'une quelconque des revendications 5 à 13 précédentes, caractérisé en ce qu'il comprend des moyens de polarisation en courant comprenant une pluralité branches d'amenées du courant, pour distribuer ce courant le long de  
10 chaque ligne de transmission Josephson.

15. Dispositif de réduction du bruit de phase selon la revendication précédente, caractérisé en ce qu'il comprend des moyens d'ajustement de l'intensité du courant de polarisation en fonction de la fréquence du signal  
15 d'entrée.

16. Dispositif de réduction du bruit de phase selon l'une quelconque des revendications 2 à 4, caractérisé en ce que le circuit supraconducteur comprend une ligne de transmission d'impulsions de  
20 tension à flux de vortex.

17. Dispositif de réduction du bruit de phase selon la revendication 16, caractérisé en ce que ladite ligne de transmission comprend un film supraconducteur de type II à l'état mixte, déposé sur un substrat cristallin, ledit film étant polarisé en courant à ses extrémités, et comprenant une fente dans le sens de la largeur, excepté à l'endroit d'un micropont, ladite fente séparant le film en deux parties, et caractérisé en ce que le signal quasi-périodique est appliqué à une extrémité de la fente, entre les deux parties du film, et le signal de sortie est obtenu à l'autre extrémité de la fente, entre les  
25 30 deux parties du film.

18. Dispositif de réduction du bruit de phase selon l'une quelconque des revendications 16 ou 17, caractérisé en ce que ledit dispositif à supraconducteur est plongé dans un champ magnétique continu  
35 orienté perpendiculairement au plan de surface de la fente.



5. Dispositif de réduction du bruit de phase selon la revendications 4, caractérisé en ce que la ligne de transmission Josephson est à jonction longue Josephson.

5 6. Dispositif de réduction du bruit de phase selon la revendication 4, caractérisé en ce que ladite ligne de transmission comprend une pluralité de jonctions Josephson shuntées en parallèle.

7. Dispositif de réduction du bruit de phase selon la revendication 10 6, caractérisé en ce que chaque ligne de transmission Josephson est du type ligne à jonctions sur bicristal.

8. Dispositif de réduction du bruit de phase selon la revendication 15 6, caractérisé en ce que chaque ligne de transmission Josephson est du type ligne à jonctions sur rampe.

9. Dispositif de réduction du bruit de phase selon l'une quelconque des revendications 5 à 8, caractérisé en ce que le circuit supraconducteur comprend plusieurs lignes de transmission Josephson 20 disposées en parallèle dans un même plan de surface.

10. Dispositif de réduction du bruit de phase selon la revendication 25 9, caractérisé en ce qu'il comprend un circuit de déphasage de  $\pi$  en entrée d'au moins une ligne de transmission.

11. Dispositif de réduction du bruit de phase selon la revendication 10, caractérisé en ce que ledit circuit de déphasage reçoit en entrée le signal d'entrée ( $S_e$ ) du dispositif.

30 12. Dispositif de réduction du bruit de phase selon la revendication 10, caractérisé en ce que ledit circuit de déphasage reçoit en entrée le signal de sortie d'une ligne.

13. Dispositif de réduction du bruit de phase selon la revendication 35 9, caractérisé en ce que le circuit supraconducteur comprend n lignes de

19. Dispositif de réduction du bruit de phase selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisé en ce que le ou les circuits supraconducteurs utilisent un supraconducteur du type à haute température critique.

transmission Josephson de rang 1 à n dans un même plan de surface d'un substrat, avec n entier  $\geq 2$ , les lignes de rang pair recevant le signal d'entrée (Se), les lignes de rang impair recevant ledit signal d'entrée au travers d'un circuit déphaseur, le signal de sortie étant fourni en sortie d'une des n lignes.

5

14. Dispositif de réduction du bruit de phase selon l'une quelconque des revendications 5 à 13 précédentes, caractérisé en ce qu'il comprend des moyens de polarisation en courant comprenant une pluralité branches d'amenées du courant, pour distribuer ce courant le long de  
10 chaque ligne de transmission Josephson.

15. Dispositif de réduction du bruit de phase selon la revendication précédente, caractérisé en ce qu'il comprend des moyens d'ajustement de l'intensité du courant de polarisation en fonction de la fréquence du signal  
15 d'entrée.

16. Dispositif de réduction du bruit de phase selon l'une quelconque des revendications 2 à 4, caractérisé en ce que le circuit supraconducteur comprend une ligne de transmission d'impulsions de  
20 tension à flux de vortex.

17. Dispositif de réduction du bruit de phase selon la revendication 16, caractérisé en ce que ladite ligne de transmission comprend un film supraconducteur de type II à l'état mixte, déposé sur un substrat cristallin,  
25 ledit film étant polarisé en courant à ses extrémités, et comprenant une fente dans le sens de la largeur, excepté à l'endroit d'un micropont, ladite fente séparant le film en deux parties, et caractérisé en ce que le signal quasi-périodique est appliqué à une extrémité de la fente, entre les deux parties du film, et le signal de sortie est obtenu à l'autre extrémité de la fente, entre les  
30 deux parties du film.

18. Dispositif de réduction du bruit de phase selon l'une quelconque des revendications 16 ou 17, caractérisé en ce que ledit dispositif à supraconducteur est plongé dans un champ magnétique continu  
35 orienté perpendiculairement au plan de surface de la fente.

19. Dispositif de réduction du bruit de phase, selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisé en ce que le ou les circuits supraconducteurs utilisent un supraconducteur du type à haute température critique.



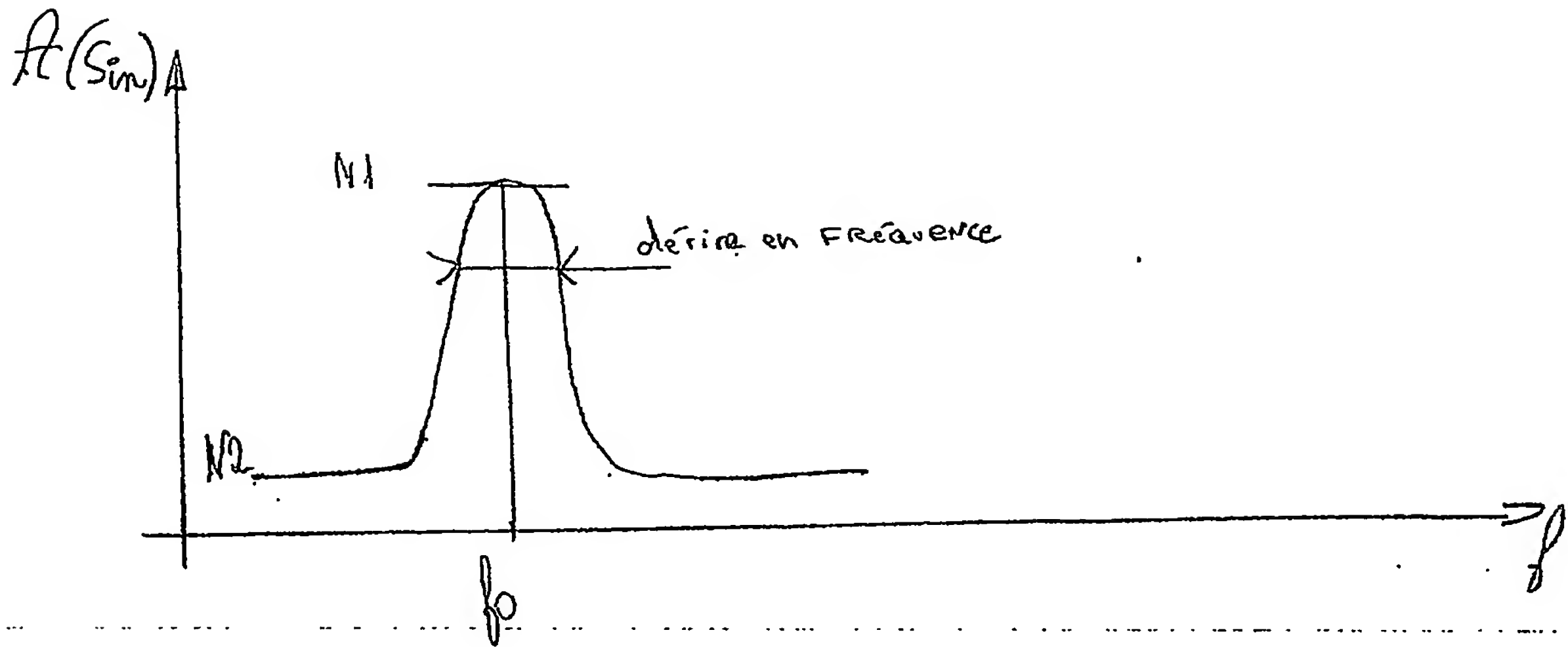


Figure 1

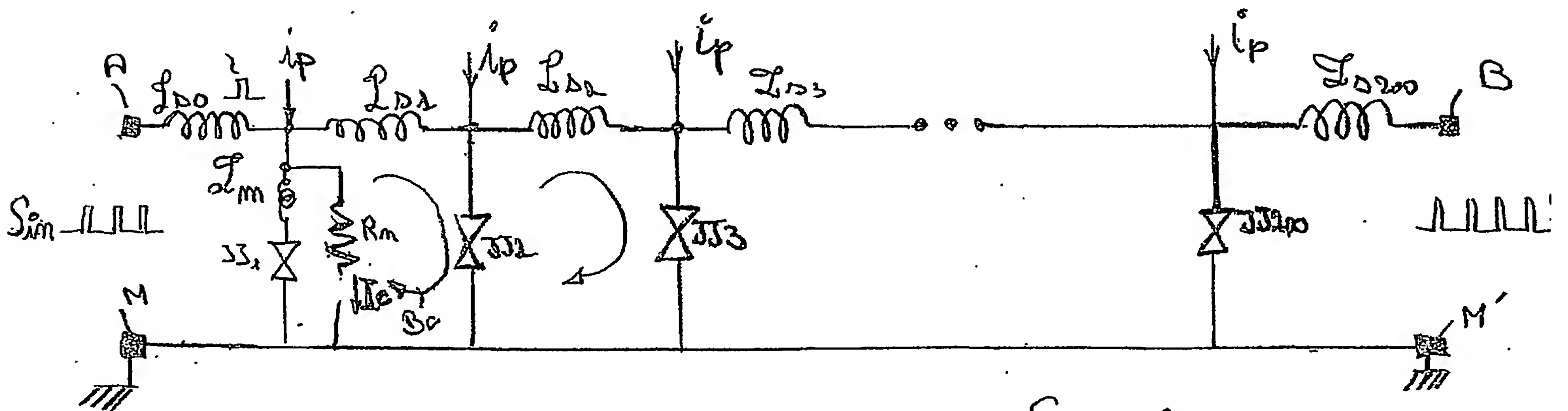
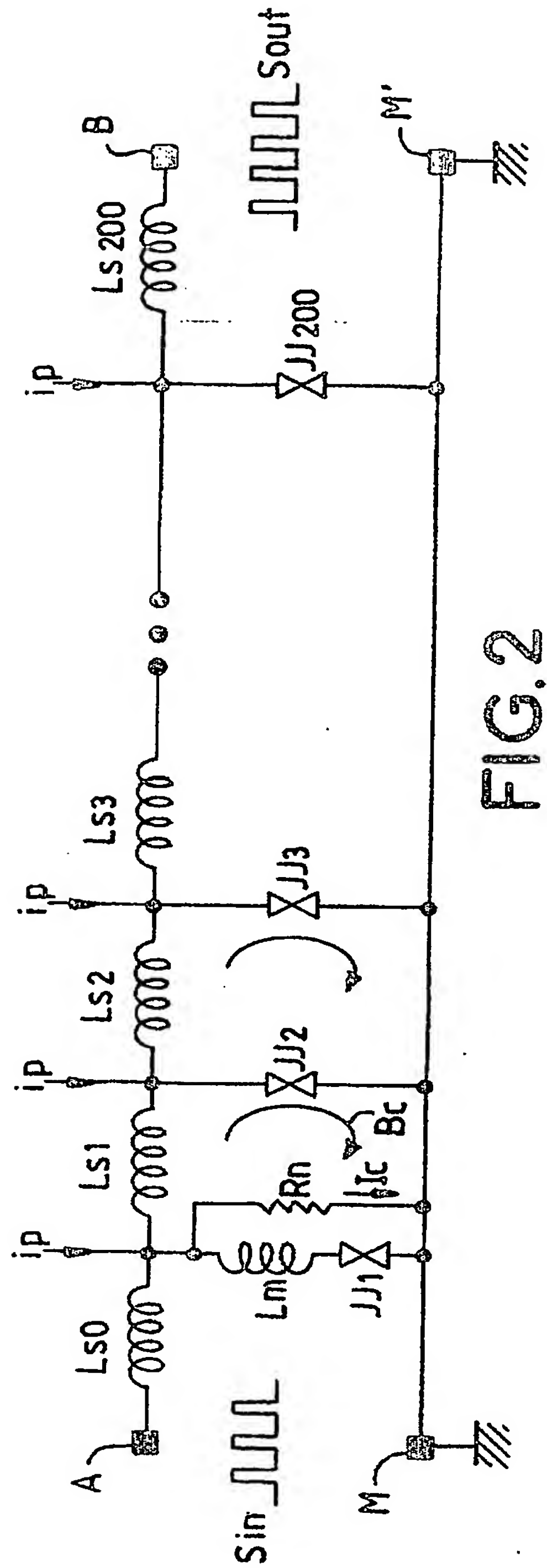
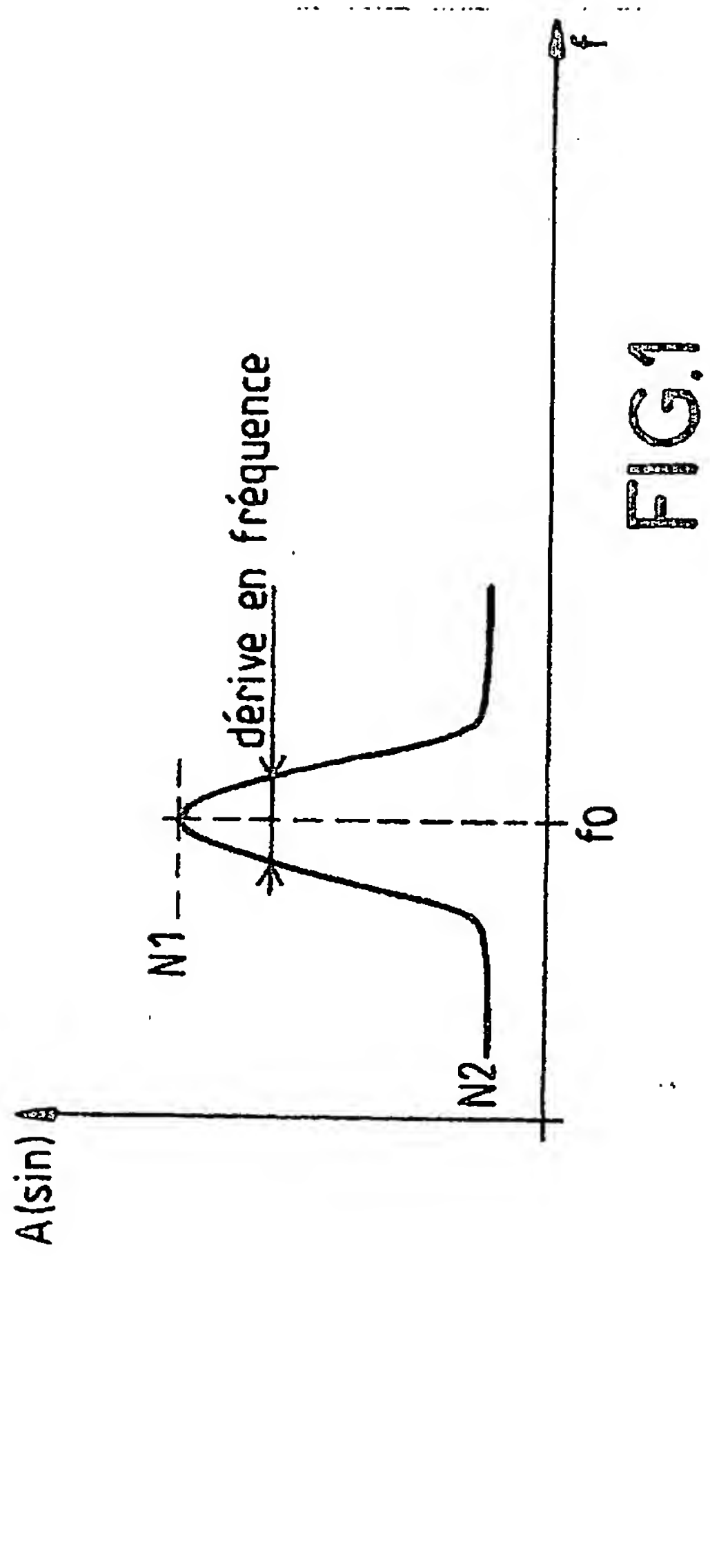


Figure 2



BEST AVAILABLE COPY

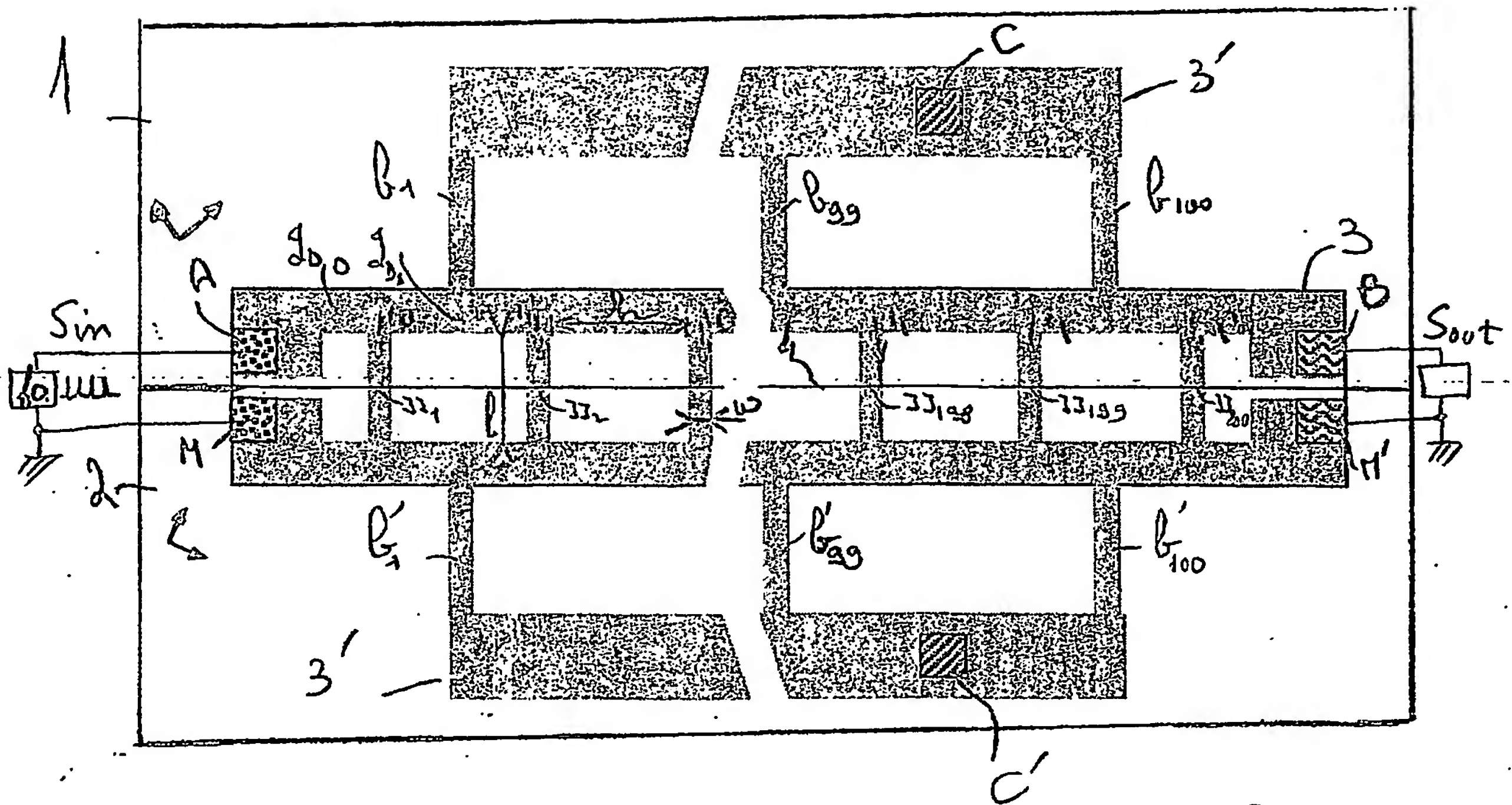


Figure 3

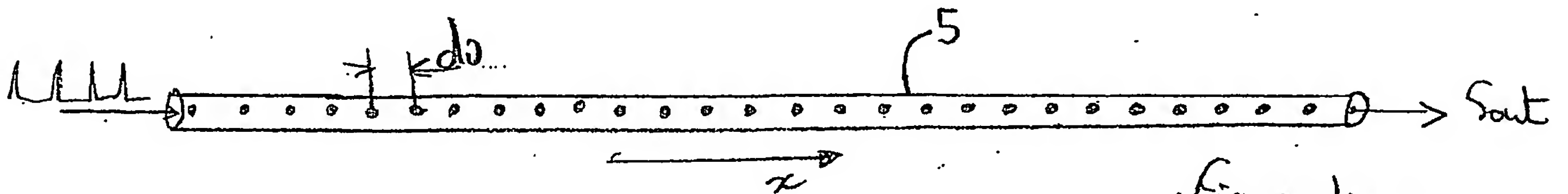


Figure 4a

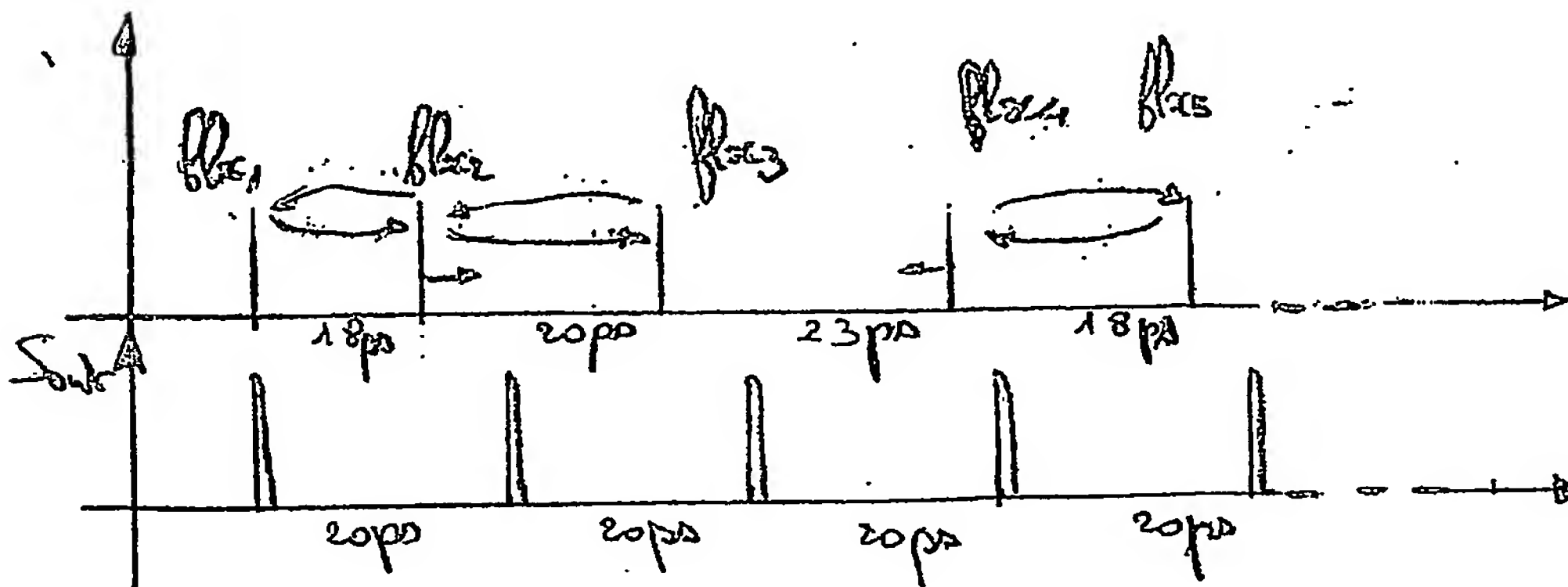


Figure 4b

Figure 4c

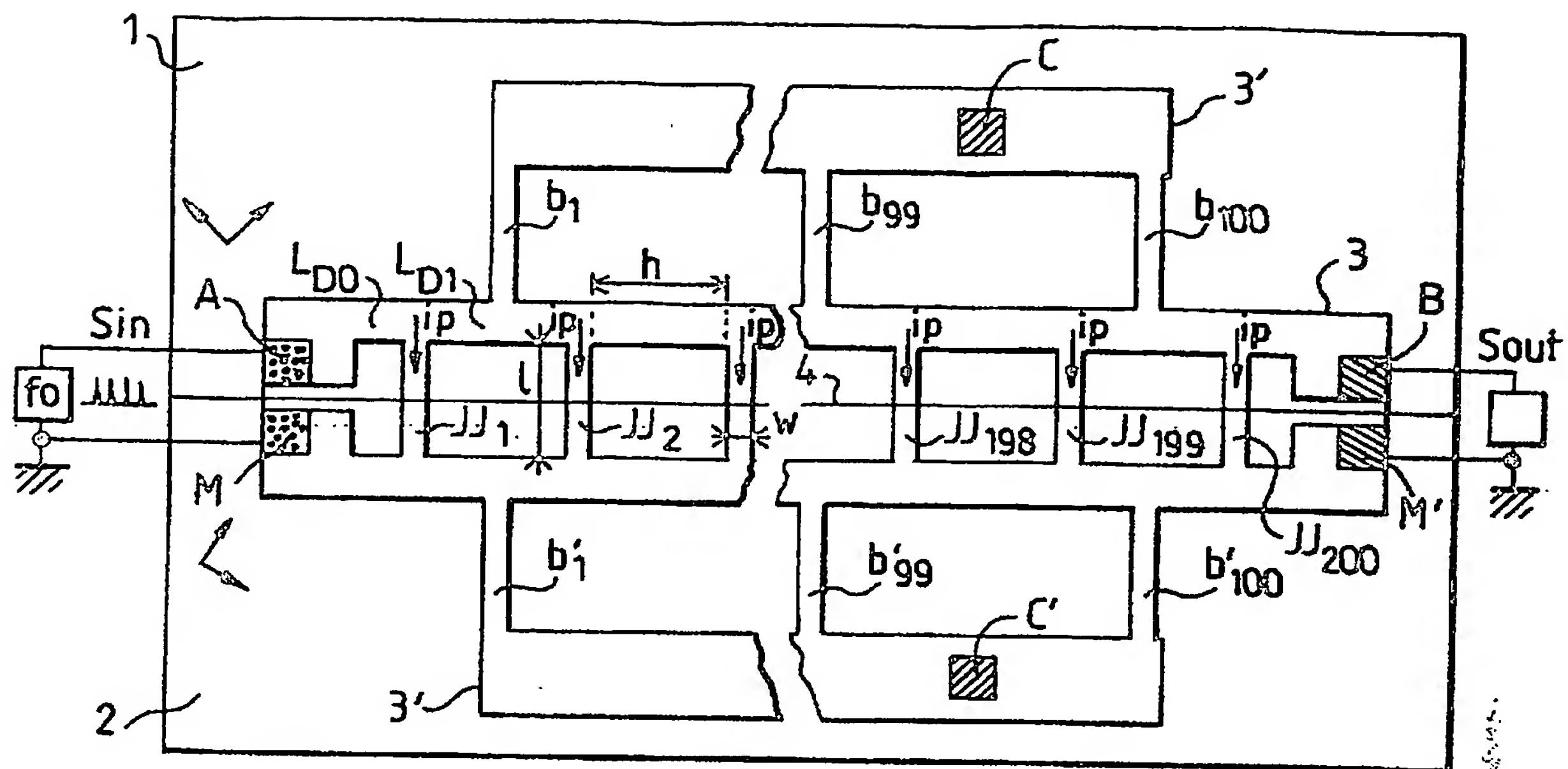


FIG. 3

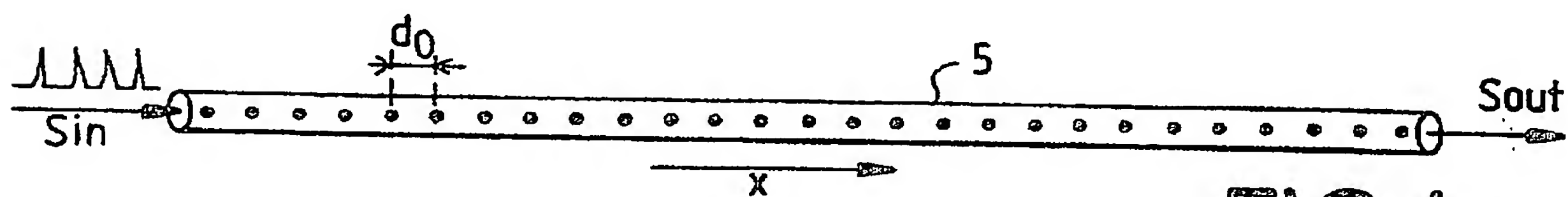


FIG. 4a

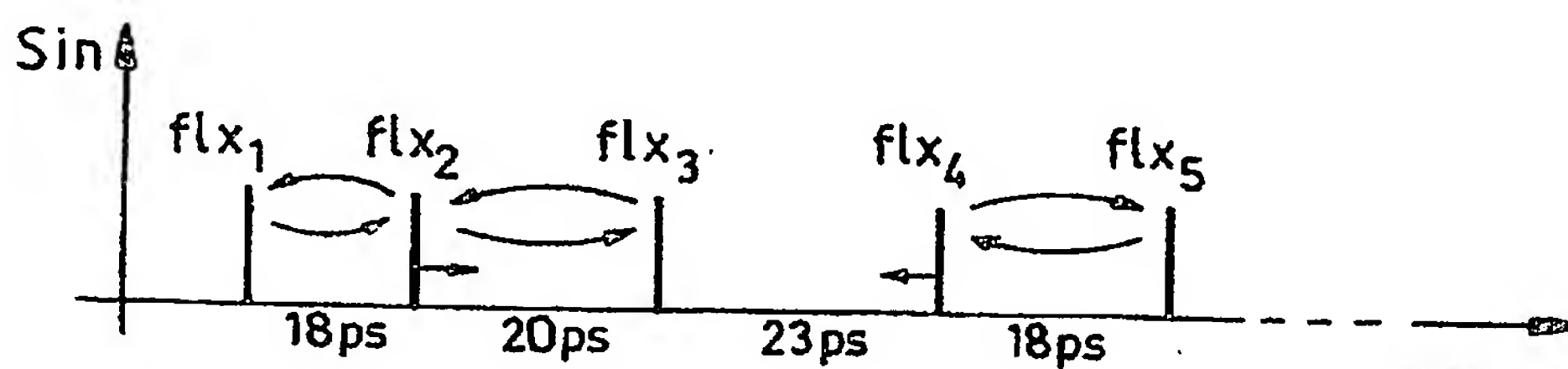


FIG. 4b

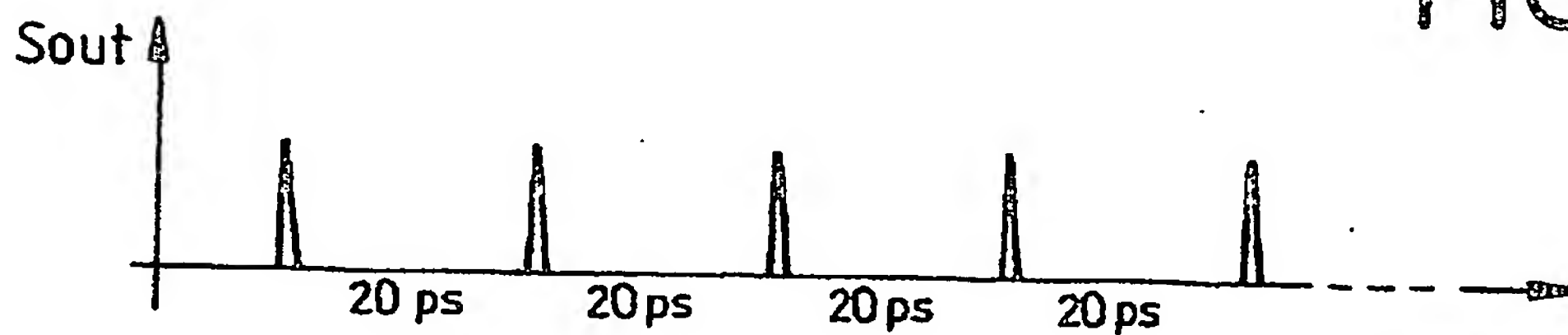


FIG. 4c



BEST AVAILABLE COPY

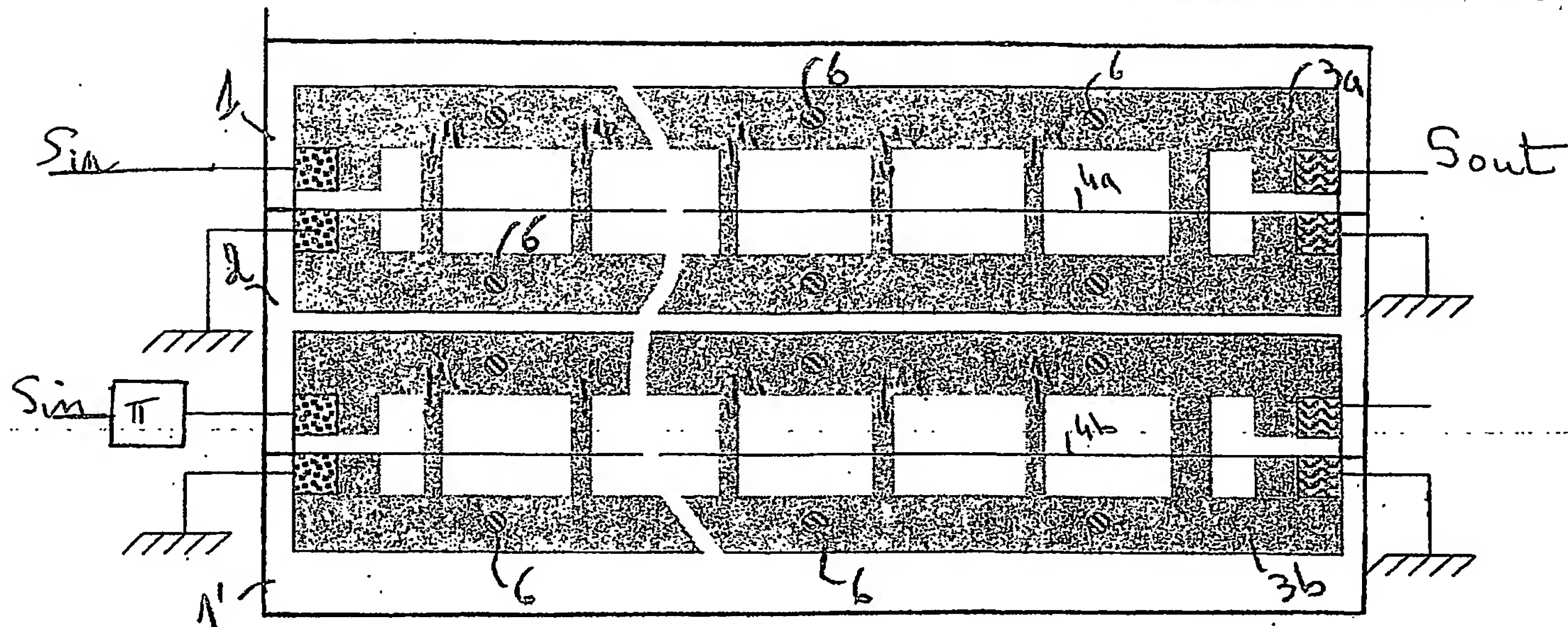


Figure 5a

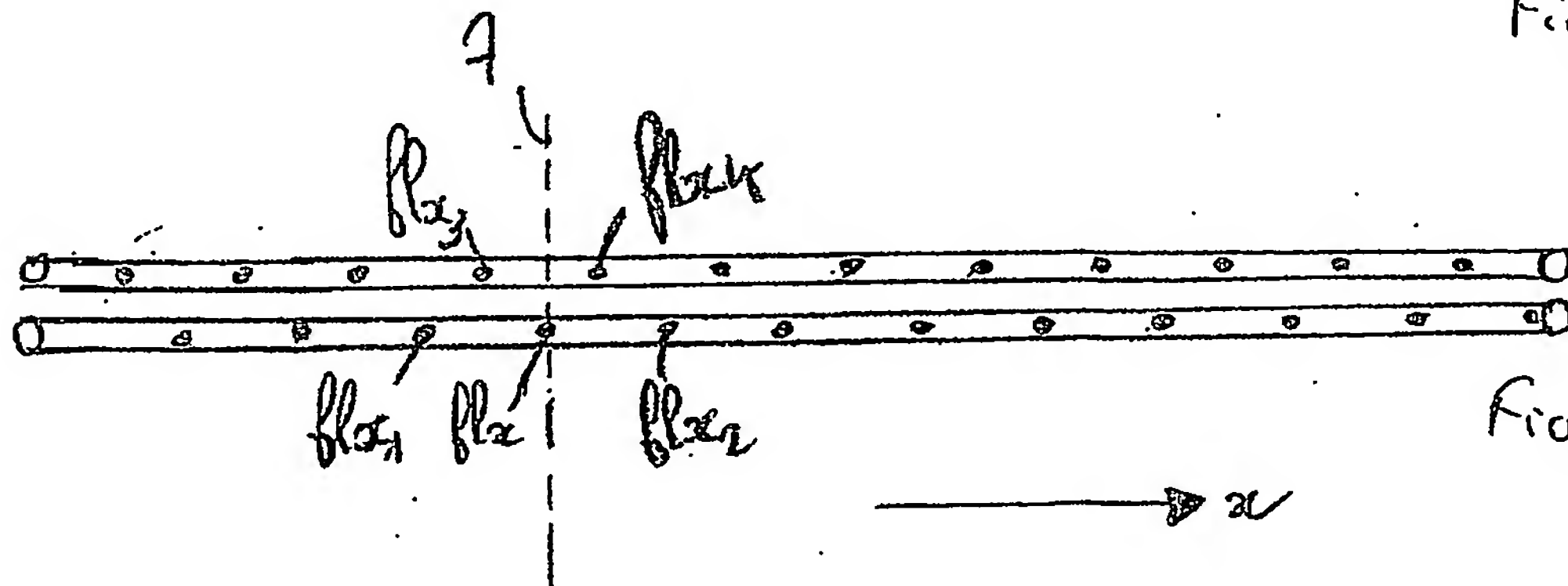


Figure 5b

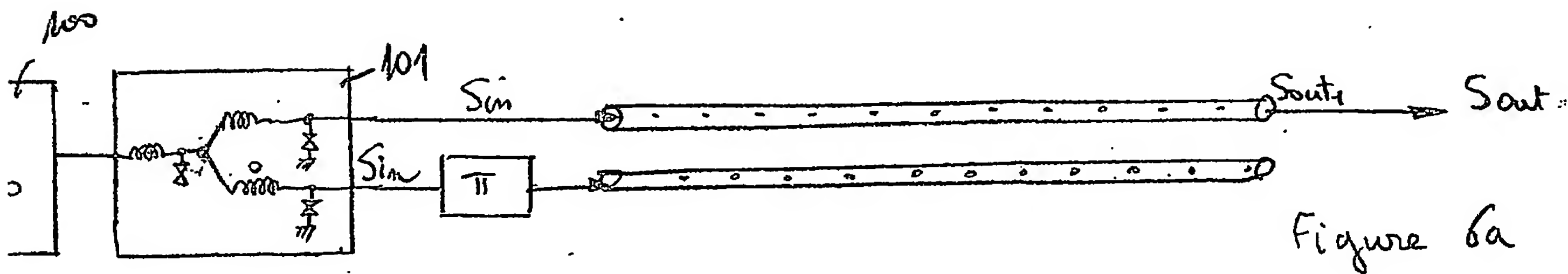


Figure 6a

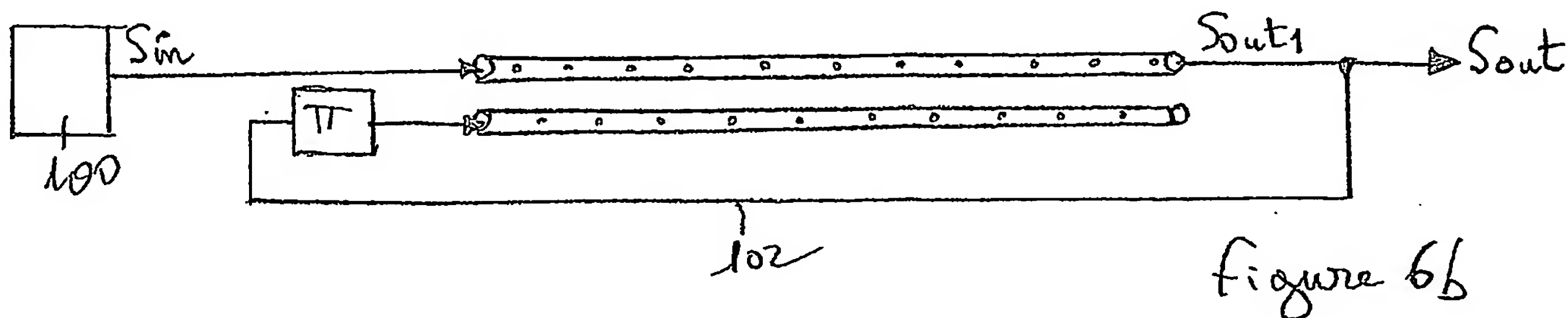


Figure 6b

BEST AVAILABLE COPY

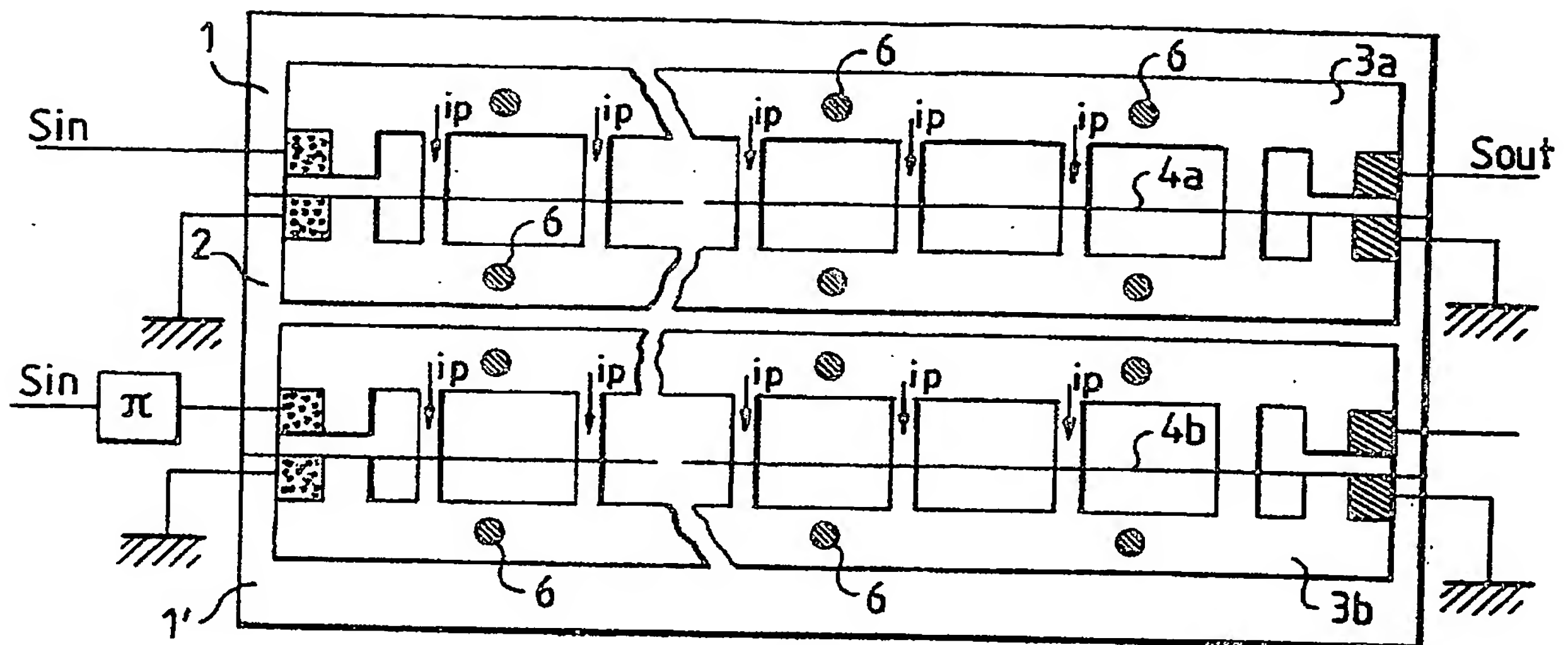


FIG. 5a

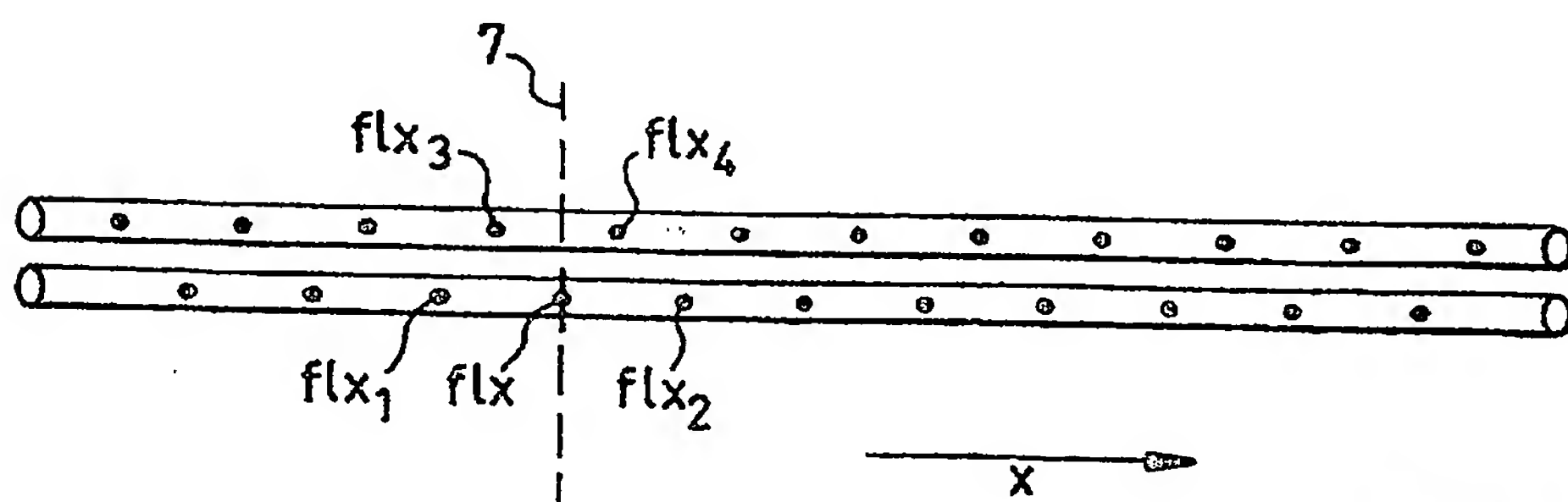


FIG. 5b

BEST AVAILABLE COPY

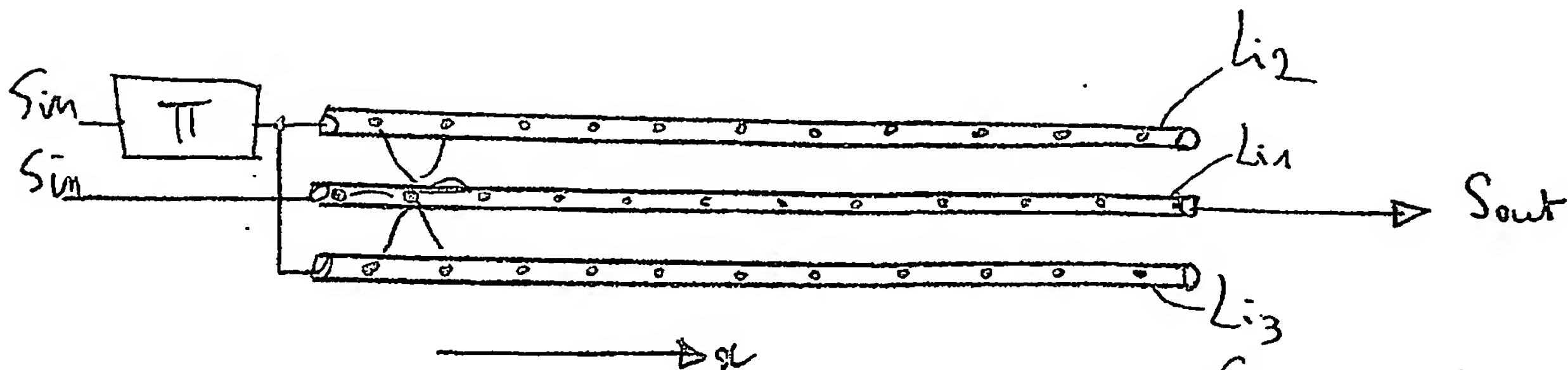


Figure 6c

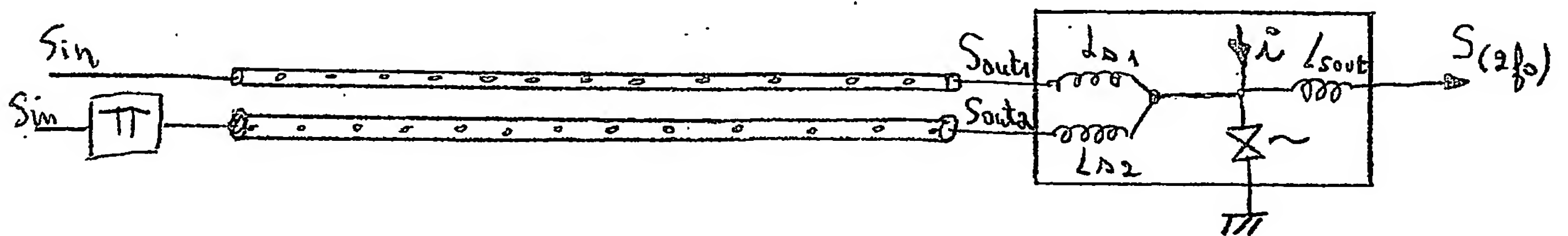


Figure 7.

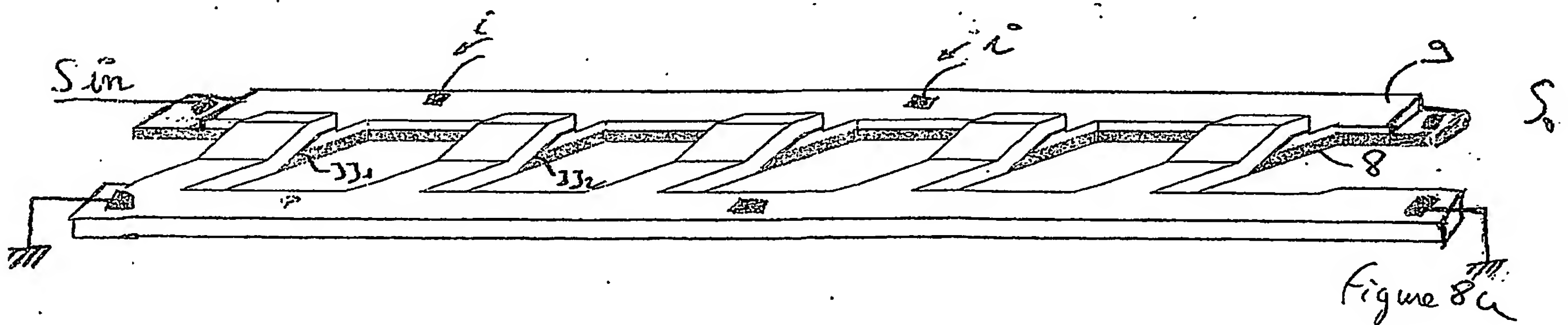


Figure 8a

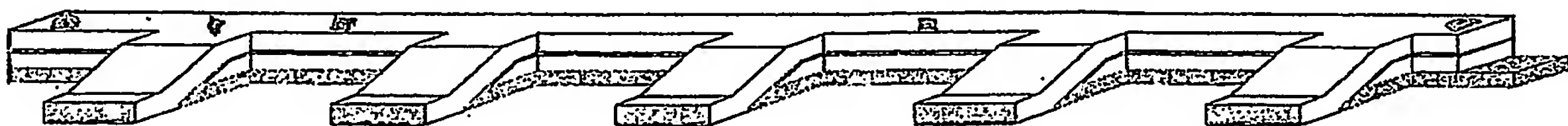
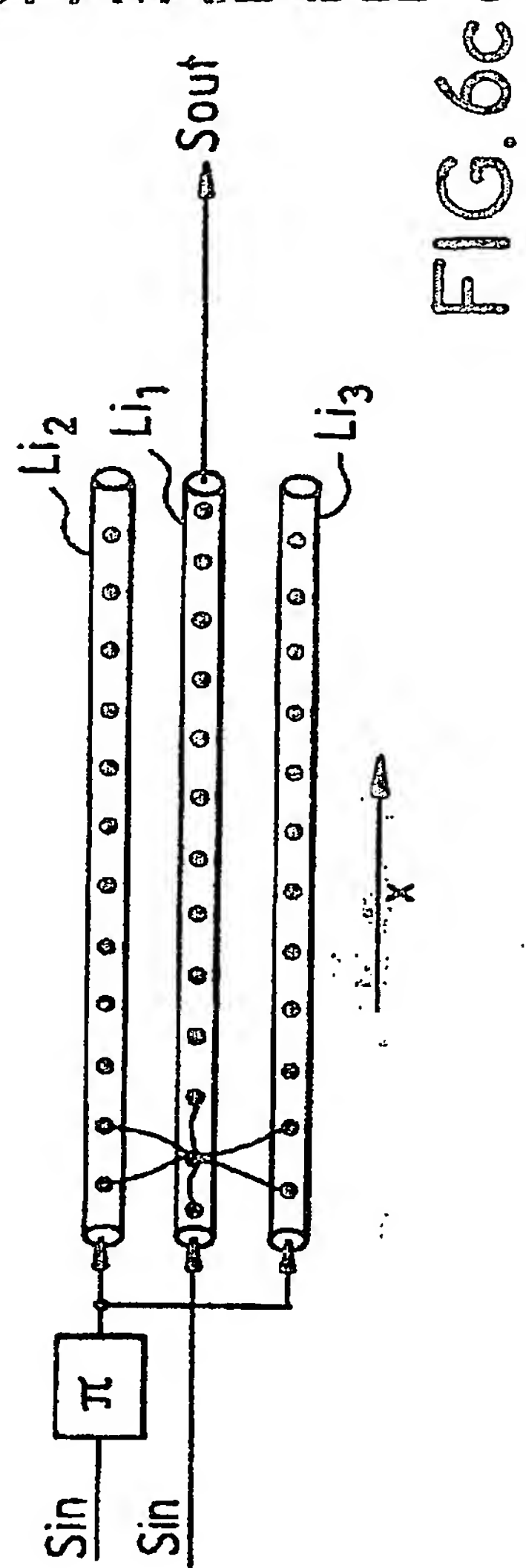
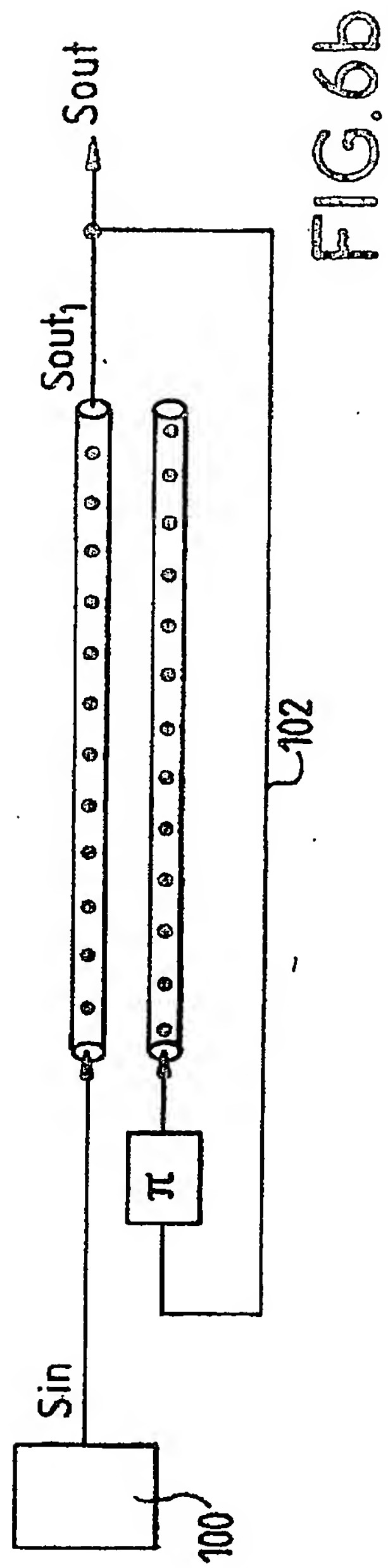
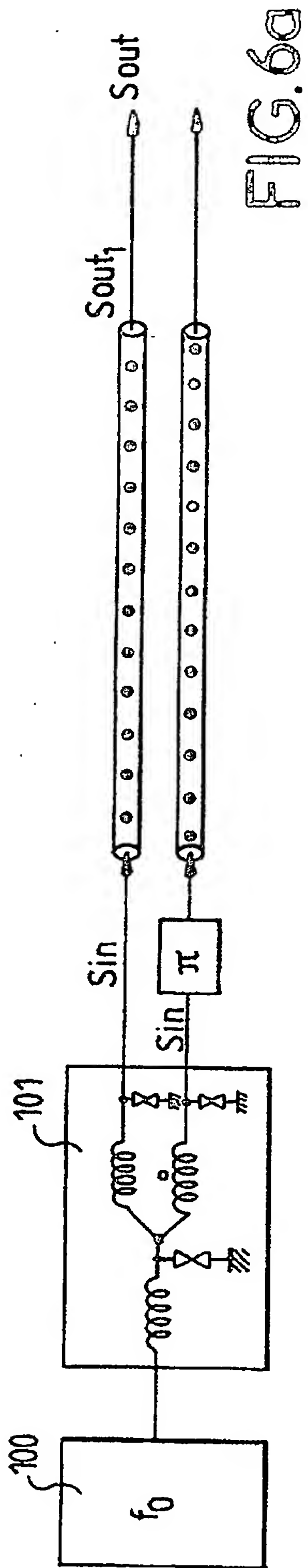


Figure 8b

BEST AVAILABLE COPY





BEST AVAILABLE COPY

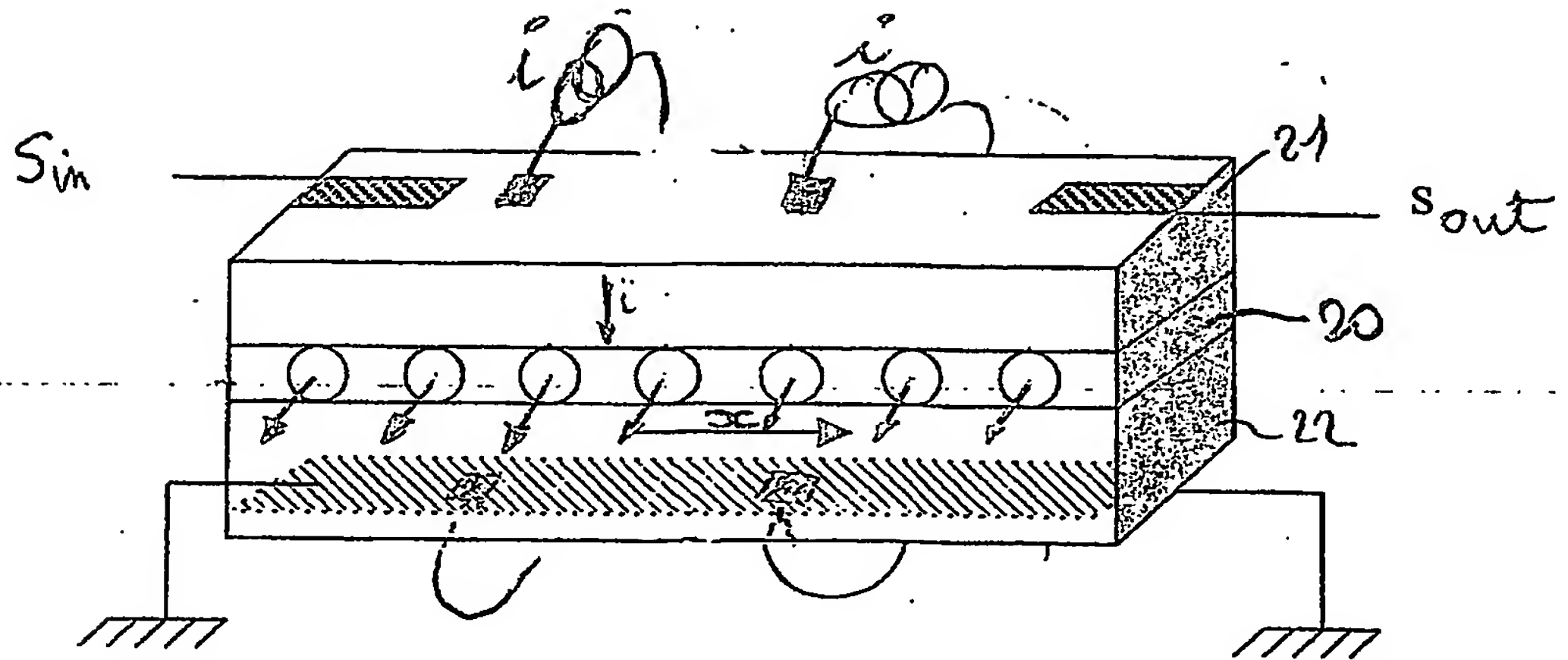


figure 9a

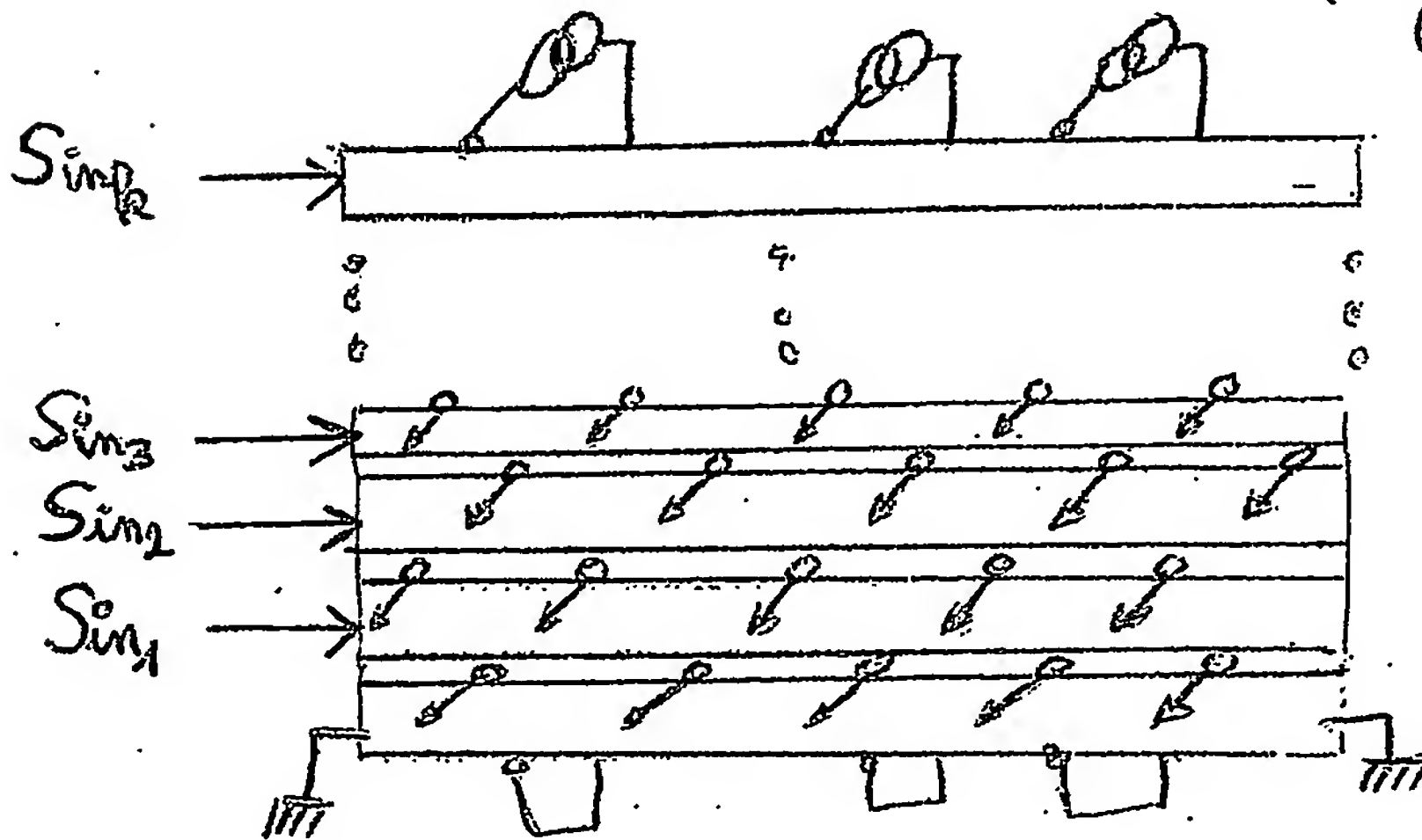
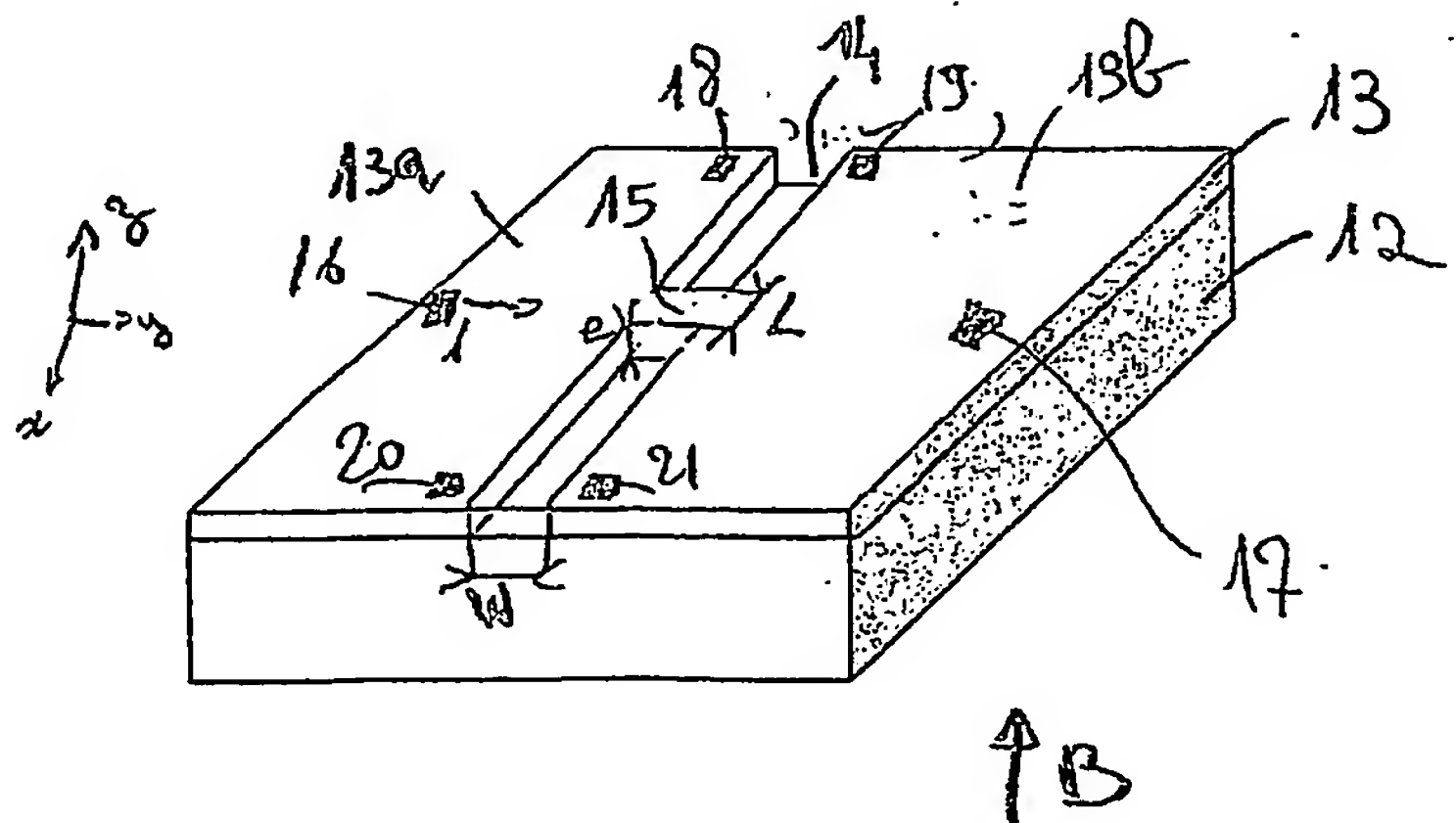


figure 9b

figure 10a



BEST AVAILABLE COPY

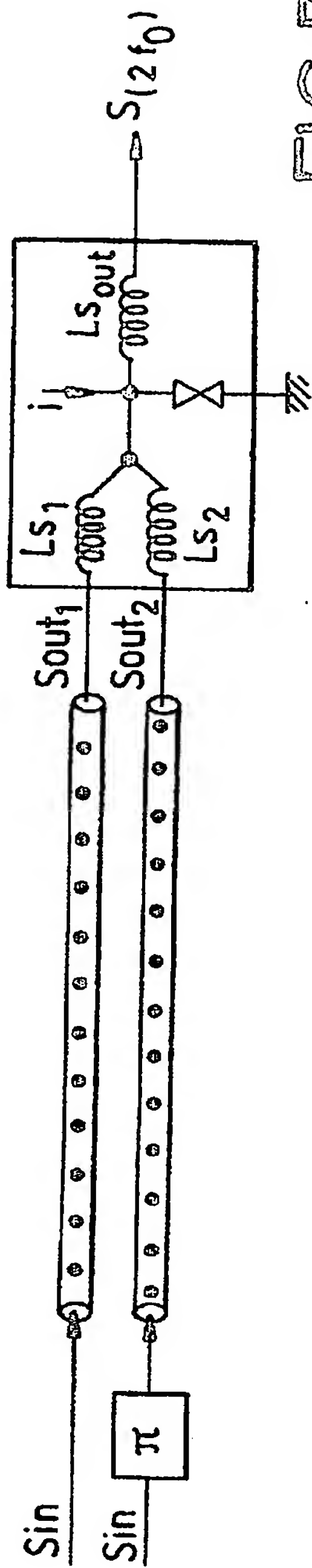


FIG. 7

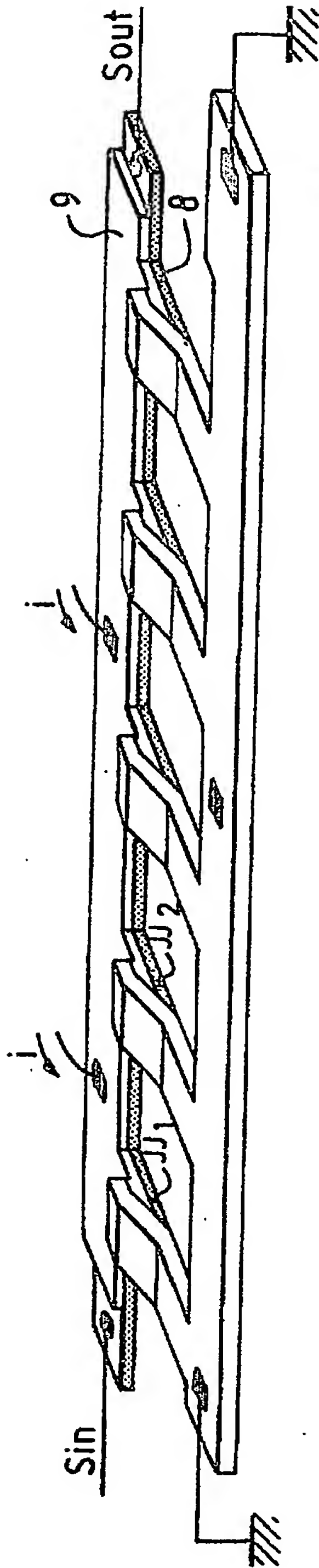


FIG. 8a

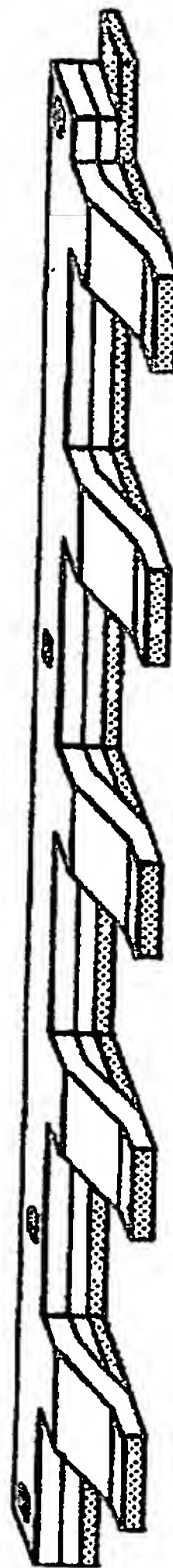
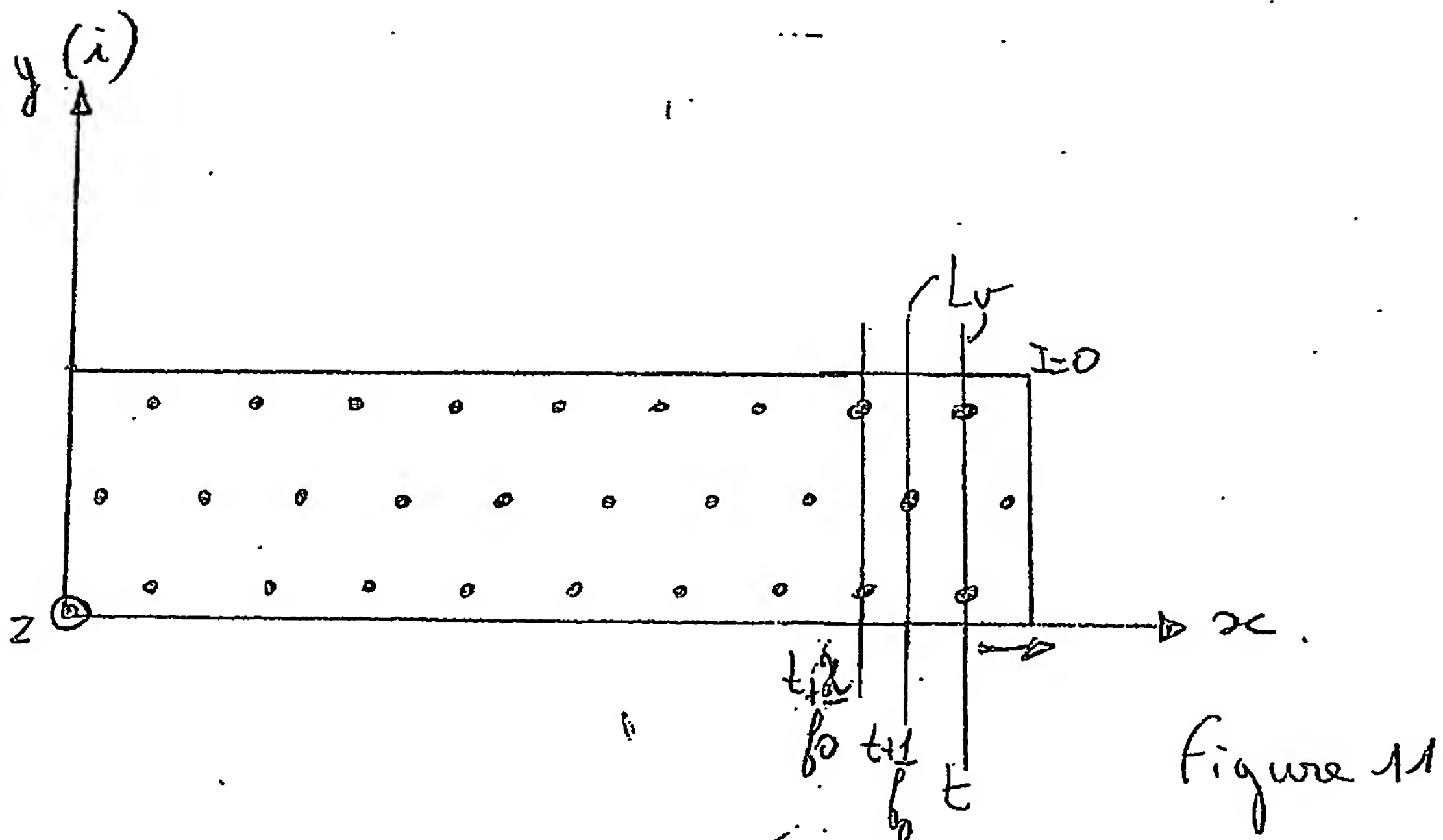
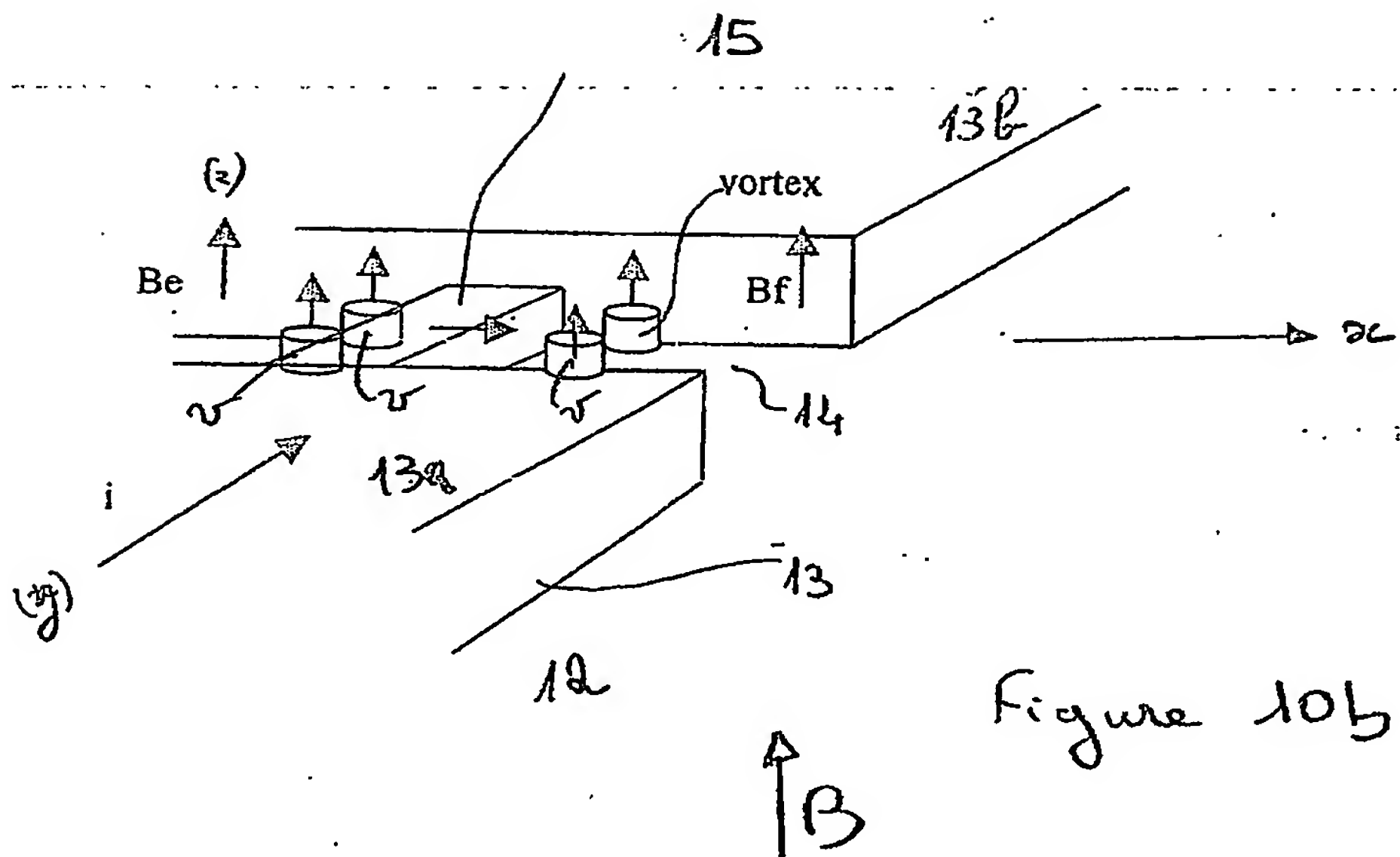


FIG. 8b

**BEST AVAILABLE COPY**



BEST AVAILABLE COPY

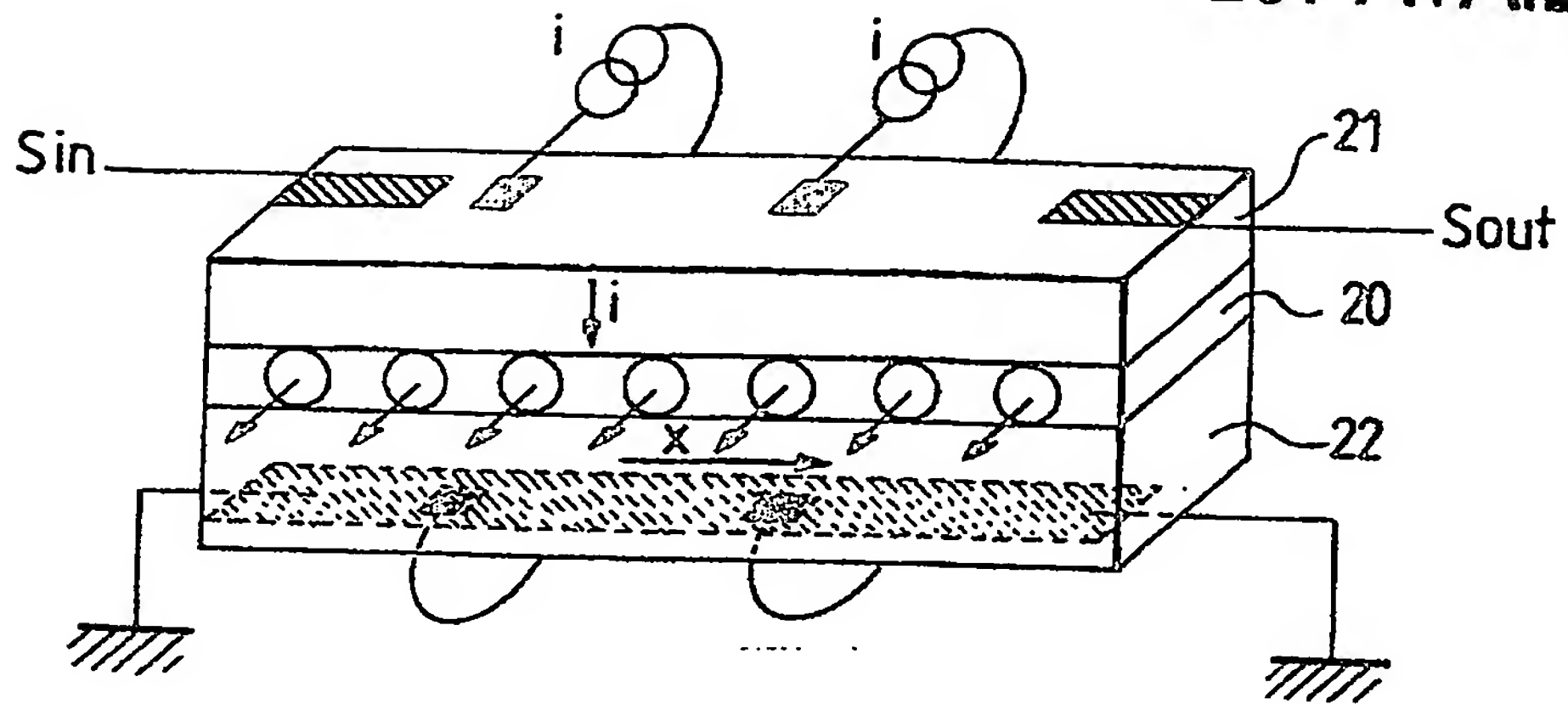


FIG. 9a

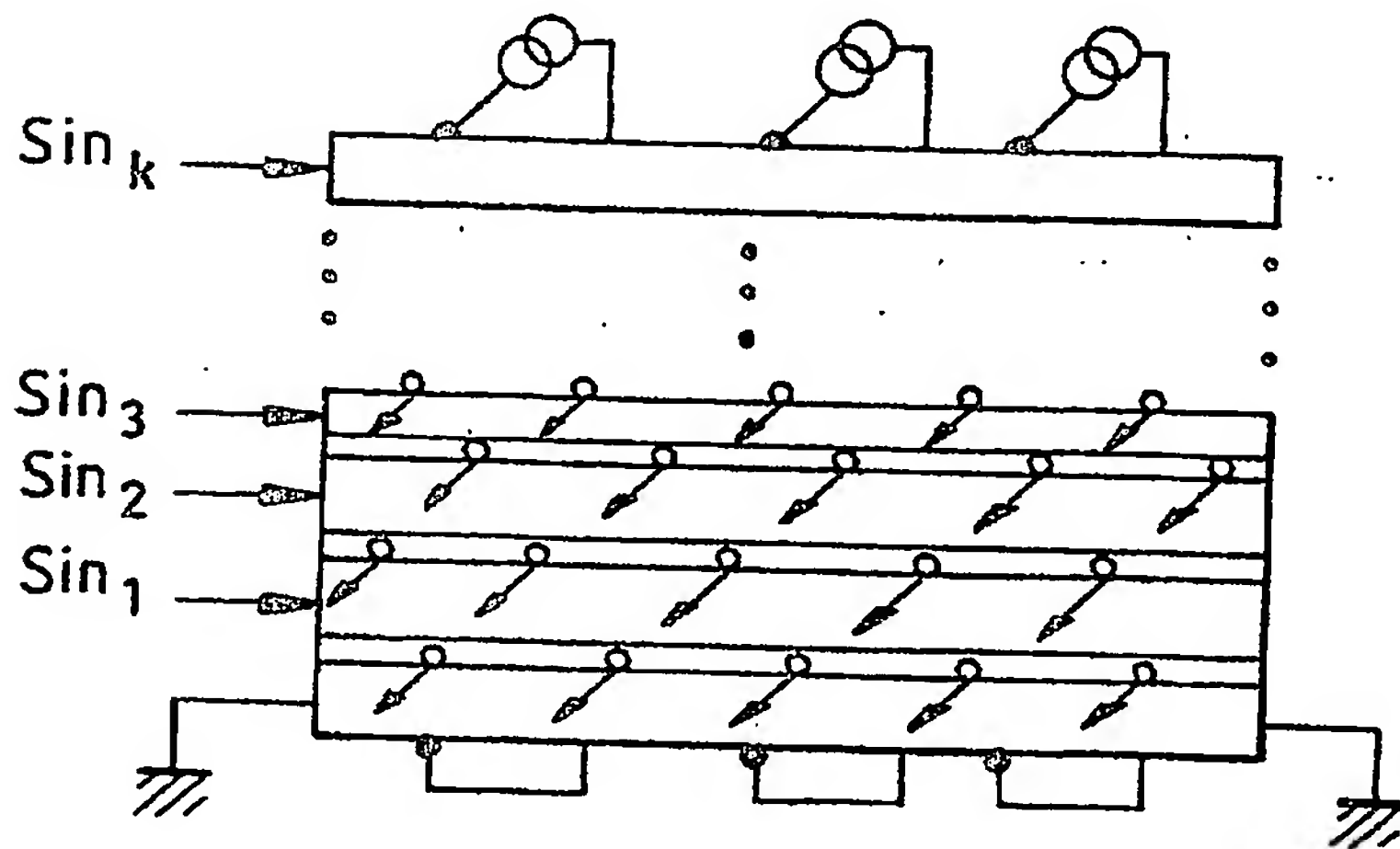


FIG. 9b

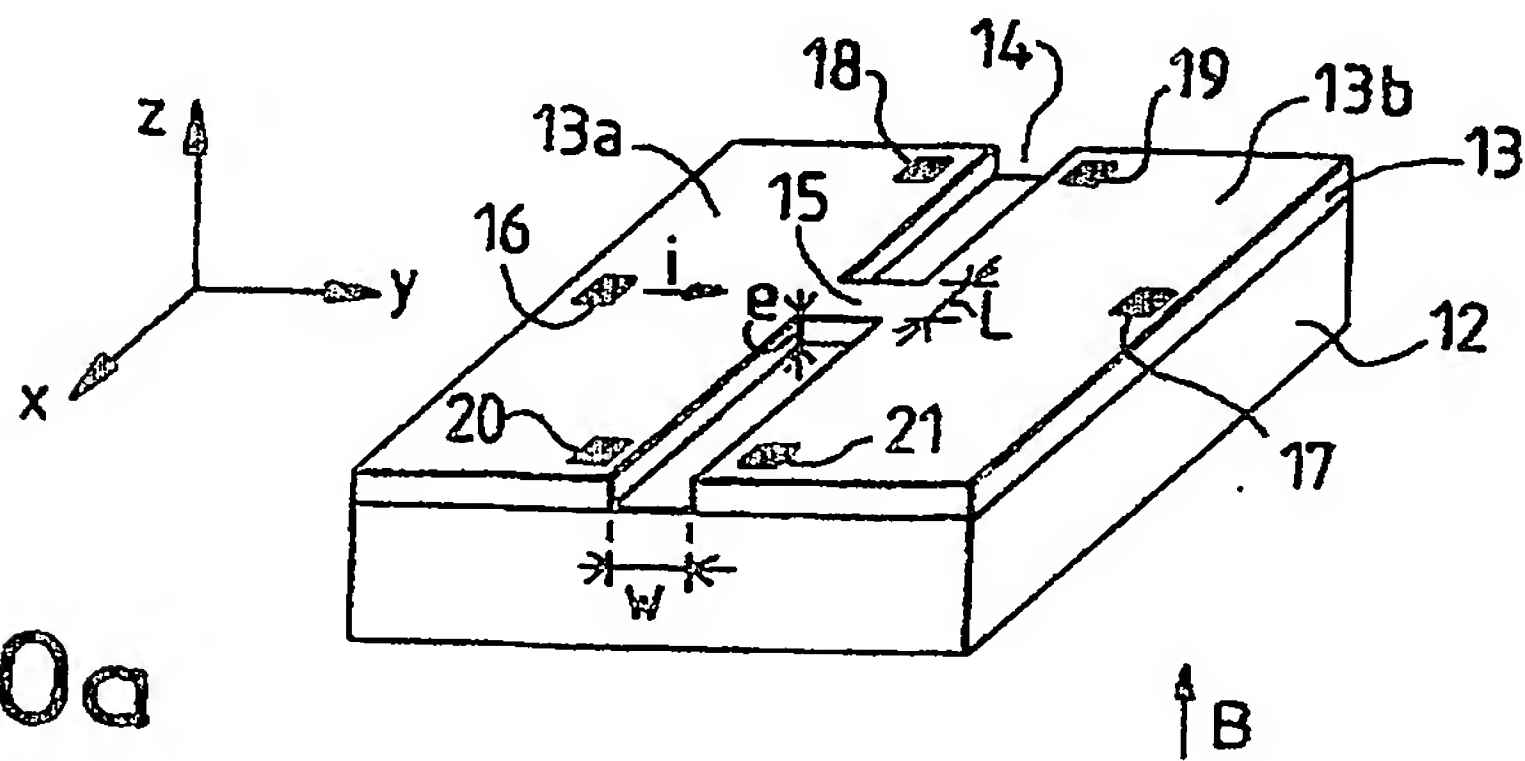


FIG. 10a



BEST AVAILABLE COPY

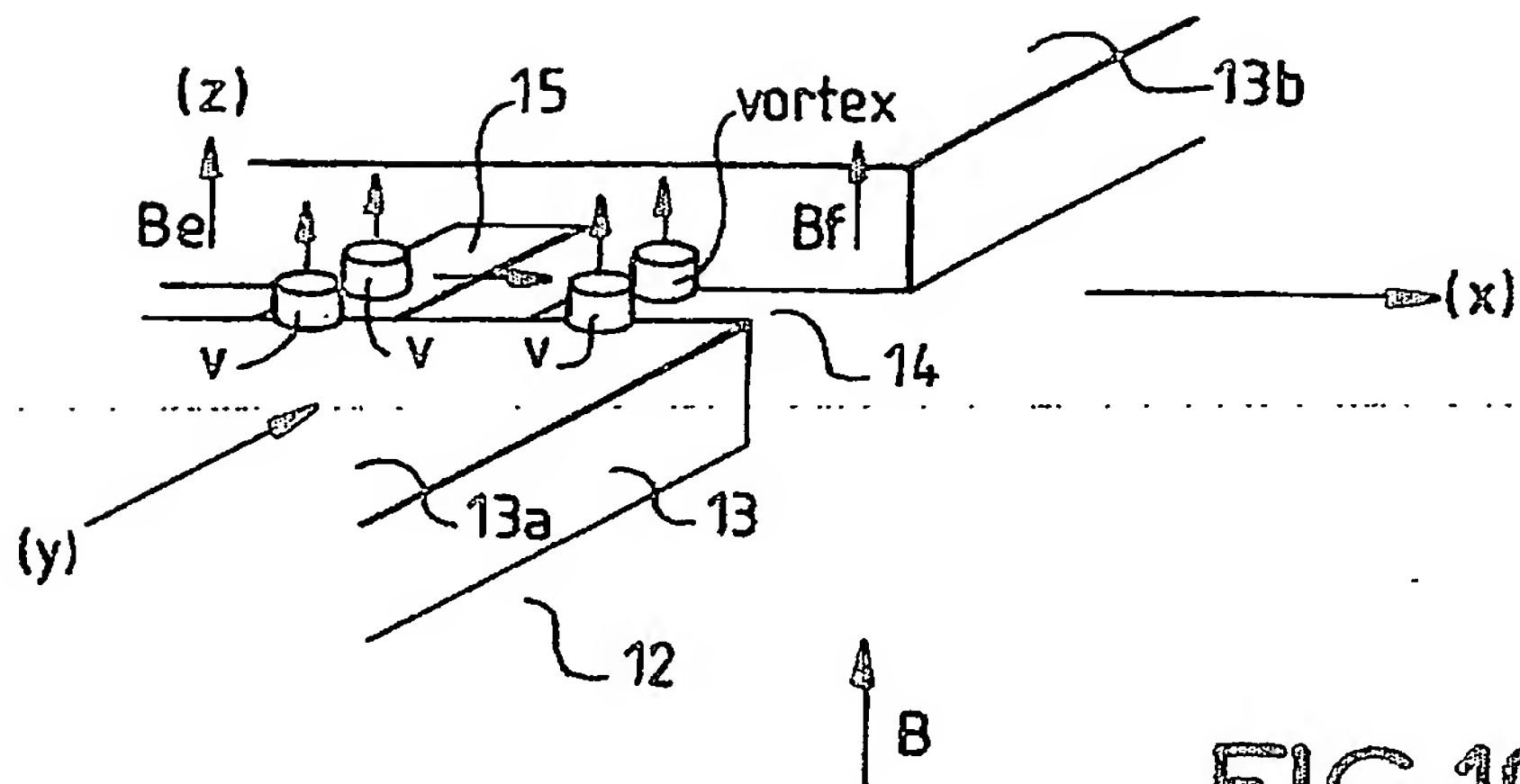


FIG. 10b

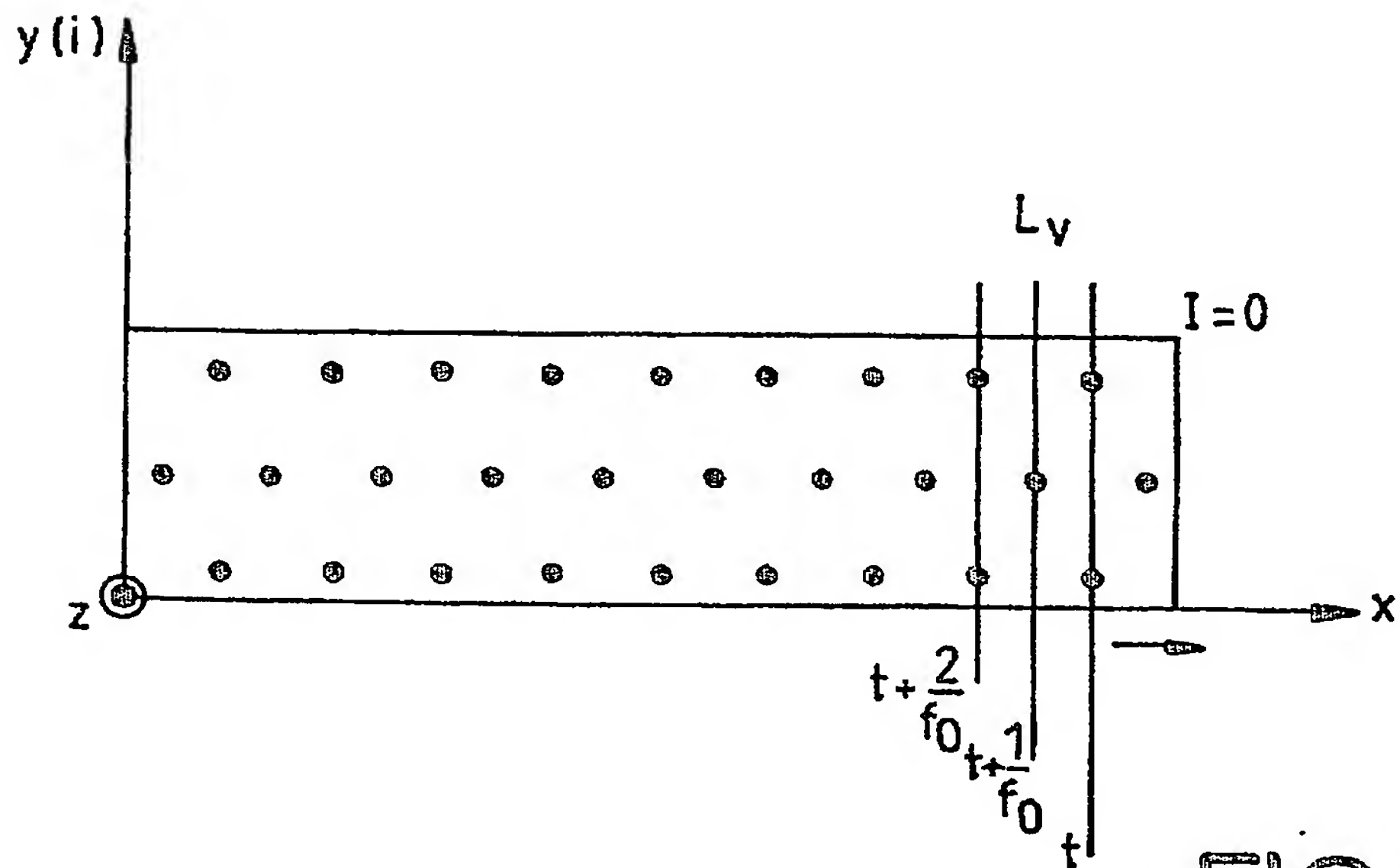


FIG. 11



BREVET D'INVENTION

CERTIFICAT D'UTILITÉ

Code de la propriété intellectuelle - Livre VI



N° 11 235 02

DÉPARTEMENT DES BREVETS

26 bis, rue de Saint Pétersbourg  
75800 Paris Cedex 08

Téléphone : 01 53 04 53 04 Télécopie : 01 42 93 59 30

DÉSIGNATION D'INVENTEUR(S) Page N° 1. / 1..

(Si le demandeur n'est pas l'inventeur ou l'unique inventeur)

Cet imprimé est à remplir lisiblement à l'encre noire

DB 113 W / 260573

Vos références pour ce dossier (facultatif)		62 909	
N° D'ENREGISTREMENT NATIONAL		0216/124	
TITRE DE L'INVENTION (200 caractères ou espaces maximum)			
DISPOSITIF DE REDUCTION DU BRUIT DE PHASE			
LE(S) DEMANDEUR(S) :			
THALES			
DESIGNE(NT) EN TANT QU'INVENTEUR(S) : (Indiquez en haut à droite «Page N° 1/1» S'il y a plus de trois inventeurs, utilisez un formulaire identique et numérotez chaque page en indiquant le nombre total de pages).			
Nom		CRETE	
Prénoms		Denis-Gérard	
Adresse	Rue	THALES INTELLECTUAL PROPERTY 13 avenue du Président Salvador Allende	
	Code postal et ville	94117	ARCUEIL CEDEX
Société d'appartenance (facultatif)			
Nom			
Prénoms			
Adresse	Rue		
	Code postal et ville		
Société d'appartenance (facultatif)			
Nom			
Prénoms			
Adresse	Rue		
	Code postal et ville		
Société d'appartenance (facultatif)			
DATE ET SIGNATURE(S) DU (DES) DEMANDEUR(S) OU DU MANDATAIRE (Nom et qualité du signataire)			
12 NOV. 2002			
Agnès DESVIGNES			

La loi n°78-17 du 6 janvier 1978 relative à l'informatique, aux fichiers et aux libertés s'applique aux réponses faites à ce formulaire.  
Elle garantit un droit d'accès et de rectification pour les données vous concernant auprès de l'INPI.

**BEST AVAILABLE COPY**

PCT Application

**EP0350801**

